



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

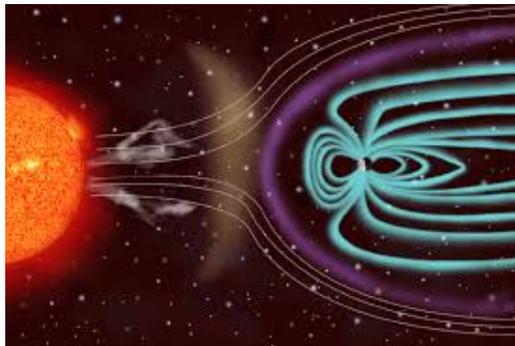


Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований  
и распространения радиоволн  
Дальневосточного отделения Российской академии наук

## СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ФИЗИКА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сборник тезисов докладов  
XII международной конференции

с. Паратунка, Камчатский край  
27 сентября – 1 октября 2021



с. Паратунка  
2021



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

XII INTERNATIONAL CONFERENCE

v. Paratunka Kamchatsky kray

September 27 – October 01, 2021  
COLLECTION OF THE REPORTS

v. Paratunka  
2021

УДК 551.509.336 + 550.344.37

**Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений:**  
XII международная конференция, с. Паратунка, Камчатский край, 27 сентября – 01 октября 2021 г. : сб. тез. докл. – Паратунка: ИКИР ДВО РАН, 2021. – 195 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» (Пер. № АААА-А21-121011290003-0).

© ИКИР ДВО РАН, 2021

**Solar-terrestrial relations and physics of earthquakes precursors:**  
XII International Conference, Paratunka, Kamchatka, September 27 – October 1, 2021: Book of Abstracts. – Paratunka: IKIR FEB RAS, 2021. – 195 p.

Proceedings on the results of original investigations of physical processes invarious 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, transferand 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» (№ АААА-А21-121011290003-0).

© IKIR FEB RAS, 2021

ISBN 978-5-6045275-1-1

ISBN 978-5-6045275-1-1



9 785604 527511

# Содержание

<b>1</b>	<b>Физика атмосферы</b>	<b>13</b>
1.1	Балабин Ю.В., Гвоздецкий Б.Б., Германенко А.В., Михалко Е.А., Маурчев Е.А. Experimentum crucis: возрастания фонового гамма-излучения при осадках в акватории Ледовитого океана . . . . .	14
1.2	Белецкий А.Б., Насыров И.А., Сыренова Т.Е., Когогин Д.А., Грач С.М., Шиндин А.В., Загретдинов Р.В. Вариации параметров атмосферы и ионосферы Земли во время воздействия мощного коротковолнового радиоизлучения стенда «Сура» . .	15
1.3	Сецко П.В., Мингалев О.В. Влияние ионов кислорода на формирование токового слоя в хвосте магнитосферы Земли . . . . .	16
1.4	Балабин Ю.В. Влияние солнечной активности на возрастания фонового гамма-излучения при осадках	16
1.5	Миронова И.А., Синнхубер М., Базилевская Г.А., Бортакур М., Гранкин Д.В., Махмутов В.С., Розанов Е.В., Суходолов Т.В. Высыпание высокоэнергетических электронов в атмосферу по данным аэростатных и спутниковых наблюдений . . . . .	17
1.6	Смирнов С.Э. Годовой ход максимума суточной вариации атмосферного электричества на Камчатке . .	18
1.7	Малкин Е.И., Фирстов П.П., Чернева Н.В., Дружин Г.И. Грозовая активность при извержении вулканов северной группы . . . . .	19
1.8	Кумьков Т. С., Дрекслер П. Исследование влияния фрактальности среды на электрическое поле в грозовых облаках . . . . .	19
1.9	Варгин П.Н., Лукьянов А.Н., Цветкова Н.Д. Исследование особенностей динамики стратосферы Арктики и их влияния на тропосферу в зимние сезоны 2019–20 и 2020–21 гг. . . . .	21
1.10	Дружин Г.И., Малкин Е.И., Капустина О.В., Михайлов Ю.М. КНЧ диапазон электромагнитного излучения грозового разряда как индикатор спрайта	22
1.11	Маурчев Е.А., Германенко А.В., Балабин Ю.В. Моделирование ионизации атмосферы Земли протонами галактических и солнечных космических лучей	23

1.12	Сулакшина О.Н., Борков Ю.Г. Моделирование спектров излучения молекул ОН и OD в ультрафиолетовой области . . . . .	24
1.13	Гаврилов Н.М., Коваль А.В., Погорельцев А.И., Ермакова Т.С. Моделирование чувствительности глобальной атмосферной циркуляции и планетарных волн к изменениям солнечной активности . . . . .	24
1.14	Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Васильев Р.В., Татарников А.В., Щеглова Е.С. Мониторинг прозрачности атмосферы в ночное время на основе данных оптических инструментов Национального Гелиогеофизического Комплекса . . . . .	25
1.15	Балабин Ю.В., Германенко А.В., Маурчев Е.А., Михалко Е.А., Гвоздецкий Б.Б. Мюонный телескоп в комплексной системе регистрации космических лучей в Апатитах . . . . .	26
1.16	Бычков В.В., Середкин И.Н., Дмитриев А.В. Наблюдения резонансного рассеяния в термосфере и верхней мезосфере в зимний сезон 2021 г. . . . .	27
1.17	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 $H_2O$ и $CO_2$ . . . . .	27
1.18	Николаев А.В., Долгачёва С.А., Черняева С.А. О точности определяемых видимых границ полярных сияний в модели OVATION Prime (PC) . . . . .	28
1.19	Чеснокова Т.Ю., Ченцов А.В., Рокотян Н.В., Захаров В.И., Трифонова-Яковлева А.М. Определение содержания метана и оксидов углерода из атмосферных спектров солнечного излучения . . . . .	29
1.20	Торопов А.А. Особенности грозовой активности в Арктике по наблюдениям в бухте Тикси . . . . .	30
1.21	Карагодин А.В., Миронова И.А., Розанов Е.В. Оценка приземной метеорологии на изменения облачной микрофизики, вызванной аномалиями тока ясной погоды Jz под воздействием межпланетного магнитного поля . . . . .	31
1.22	Ермакова Т.С., Коваль А.В., Окуличева А.А. Последствия ранних внезапных стратосферных потеплений . . . . .	32

1.23	Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Саункин А.В., Подлесный С.В. Реакция мезосферы и нижней термосферы на динамику нижележащей атмосферы . . .	33
1.24	Миронова И.А., Клименко М.В., Пикулина П.О., Розанов Е.В., Суходолов Т.В., Яковчук О.С. Реакция системы ионосфера–атмосфера на солнечные вспышки и высыпания энергичных частиц во время экстремальных событий . . . . .	34
1.25	Акбашев Р.Р., Фирстов П.П. Результаты физического моделирования отклика градиент потенциала электрического поля атмосферы на прохождение эруптивных облаков от эксплозий вулкана Эбеко (о. Парамушир) . . . . .	35
1.26	Шевцов Б.М. Релаксационные и нелинейные колебания магнитного динамо: биения в солнечной активности . . . . .	36
1.27	Шевцов Б.М. Термосферный лидар: резонансные отражения и обзор наблюдений . . . . .	36
1.28	Акбашев Р.Р., Пустовалов К.Н., Нагорский П.М., Фирстов П.П. Электрические структуры эруптивных облаков на примере эксплозий вулкана Эбеко и внутримассовых кучево-дождевых облаков . . . . .	37
<b>2</b>	<b>Геофизические поля и их взаимодействие</b>	<b>38</b>
2.1	Мандрикова О.В., Полозов Ю.А. Анализ ионосферных параметров на основе нейронных сетей NARX .	39
2.2	Полозов Ю.А. Анализ короткопериодных вариаций IMF Vz и AE индекса . . . . .	39
2.3	Баталева Е.А. Анализ особенностей пространственно-временного распределения геоэлектрических неоднородностей в земной коре и сейсмических событий . . . . .	40
2.4	Мищенко М.А., Руленко О.П., Маратулец Ю.В. Анализ проявления совместного акустического и электрического отклика приповерхностных осадочных пород на деформацию сейсмическими волнами землетрясений Южной Камчатки . . . . .	41

2.5	Хомутов С.Ю., Сапунов В.А., Денисов А.Ю., Бородин П.Б., Кудин Д.В., Сидоров Р.В., Бибнев А.С., Черепанова Е.А., Котиков А.Л., Канониди К.Х., Барышев П.Е., Турбин Ю.Г. Векторный Оверхаузеровский магнитометр POS-4: опыт использования и перспективы применения . . .	42
2.6	Рябова С.А. Высоочастотные вековые геомагнит- ные вариации по данным обсерваторий Михнево, Бельск и Борок . . . . .	43
2.7	Короченцев В.И., Петросьянц В.В., Горовой С.В., Чен Веньцзянь, Лобова Т.Ж., Шпак Ю.В. Исследо- вание акустических полей в Арктической зоне с неров- ным ледовым покровом . . . . .	44
2.8	Луковенкова О.О., Солодчук А.А., Щербина А.О. Исследование акустоэмиссионных сигналов, зареги- стрированных в пункте наблюдений «Карымшина» в 2017 году (Камчатский край) . . . . .	44
2.9	Паровик Р.И., Рахмонов З.Р. Исследование дина- мических режимов дробного осциллятора Селькова в моделировании микросейсм . . . . .	45
2.10	Короченцев В.И., Сюэ Вэй, Черненко В.А., Эм А.А., Тагаев Т.И. Исследование электромагнитных полей в Арктической зоне с неровным ледовым покрытием	46
2.11	Руленко О.П. Источник бухтообразных отрица- тельных аномалий атмосферного электрического поля при тектоносейсмическом процессе . . . . .	47
2.12	Папшева С.Ю., Мандрикова О.В., Хомутов С.Ю. Метод обнаружения помех в геомагнитных дан- ных на основе вейвлет-преобразования и адаптивных порогов . . . . .	48
2.13	Оседло В.И., Абанин О.И., Власова Н.А., Калегаев В.В., Павлов Н.Н., Петров В.Л., Подзолко М.В., Рубинштейн И.А., Свертилов С.И., Тулупов В.И., Шемухин А.А. Мониторинг ионосфер- ной и магнитосферной плазмы и потоков заряженных частиц высоких энергий в мультиспутниковых изме- рениях в широком диапазоне высот . . . . .	49

2.14	Козырева О.В., Пилипенко В.А., Сахаров Я.А. Может ли глобальное МГД моделирование предсказать величину геоиндуцированных токов при магнитных бурях? . . . . .	50
2.15	Свертилов С.И. Мониторинг физических процессов в верхней атмосфере, ионосфере и магнитосфере в космическом проекте «Ионосфера» . . . . .	52
2.16	Сивоконь В.П. Наблюдения атмосферных помех в западно-беринговоморской зоне . . . . .	53
2.17	Кузнецов В.В. Новая квантовая модель магнитного поля горячей Земли, Луны и планет земной группы . . . . .	54
2.18	Семаков Н.Н., Ковалев А.А., Павлов А.Ф., Федотова О.И. О синхронности характеристик изменений магнитного момента и движений магнитного полюса, полученных по данным магнитных обсерваторий INTERMAGNET . . . . .	54
2.19	Мандрикова Б.С., Дмитриев А.В. Обнаружение и анализ аномальных событий в данных нейтронных мониторов на основе методов машинного обучения . . . . .	55
2.20	Ларионов И.А., Марапулец Ю.В., Мищенко М.А. Одновременные литосферно-атмосферные сигналы акустического излучения в пункте «Карымшина» на Камчатке . . . . .	56
2.21	Зотов Л.В, Марчукова О.В., Бизуар К., Сидоренков Н.С. Отчего Земля ускоряет свое вращение с 2016 г. . . . .	57
2.22	Загайнова Ю.С., Громов С.В., Громова Л.И. Оценка появления SSC как функции географических координат от всемирного времени для ряда отобранных ICME . . . . .	58
2.23	Сычева Н.А. Очаговые параметры землетрясений Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань) . . . . .	59
2.24	Луковенкова О.О. Применение адаптивной пороговой вейвлет-обработки для восстановления формы импульсов геофизических сигналов . . . . .	60
2.25	Сивоконь В.П. Флуктуации рассеянного на искусственных неоднородностях ионосферы электромагнитного излучения . . . . .	61

2.26	Фещенко Л.К., Водинчар Г.М. Проверка устойчивости решений в каскадных моделях с помощью символьных вычислений . . . . .	61
2.27	Заudevкин И.А., Шакирова А.А., Фирстов П.П. Программа «Dgmscott» для выделения мультиплетов землетрясений на основе кросс-корреляционного анализа . . . . .	62
2.28	Рябова С.А. Проявление падений космических тел в атмосфере в геомагнитных вариациях . . . . .	63
2.29	Тарасов С.П., Чжу Цзяньцзюнь, Пивнев П.П., Воронин В.А., Короченцев В.И. Работа многочастотного параметрического гидролокатора бокового обзора в ледовом волноводе . . . . .	63
2.30	Кудин Д.В., Красноперов Р.И. Расчет амплитуд экстремальных событий на территории России по данным наземных наблюдений во время 24-го солнечного цикла . . . . .	64
2.31	Варламов И.И., Парников С.Г., Иевенко И.Б., Байшев Д.Г., Шиокава К. Регистрация синхронных геомагнитных пульсаций и протонных сияний в период суббури 1 марта 2017 г. . . . .	65
2.32	Шереметьева О.В., Годомская А.Н. Режимы генерации магнитного поля в маломодовой модели $\alpha\Omega$ -динамо с изменяющейся интенсивностью $\alpha$ -генератора, регулируемой функцией со знакопеременным ядром . . . . .	66
2.33	Козлов В. И., Байшев Д.Г., Павлов Е.А. Сезонные вариации естественных потенциалов в криолитозоне 2016–2021, Якутск . . . . .	67
2.34	Сычева Н.А., Сычев В.Н. Сейсмический процесс Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань) . . . . .	68
2.35	Бобровский В.С., Шитов А.В., Стоппа Ф. Синхронность подземно-электрических вариаций, наблюдавшихся на станциях в городах Горно-Алтайске и Киети (Италия) . . . . .	69

<b>3</b>	<b>Физика предвестников землетрясений</b>	<b>71</b>
3.1	Макаров Е.О., Фирстов П.П., Костылев Д.В. Аппаратура и методика регистрации подпочвенных газов на Камчатке и Сахалине с целью прогноза землетрясений . . . . .	72
3.2	Копылова Г.Н., Касимова В.А. Вариации фонового сейсмического шума в районе полуострова Камчатка в 2011–2021 гг.: связь с сильными землетрясениями . . . . .	74
3.3	Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеофлюидные предвестники: связь с параметрами землетрясений и концептуальные модели . . . . .	75
3.4	Зенкин О.В. Закономерная связь крупных землетрясений с космическими событиями . . . . .	76
3.5	Богданов В.В., Павлов А.В. Идентификация ионосферных предвестников землетрясений в Камчатском регионе на основе корреляционного анализа . . . . .	77
3.6	Богомолов Л.М., Богинская Н.В., Сычев В.Н. Математический арсенал модели саморазвивающихся процессов для анализа форшоковых последовательностей и вероятности сильного землетрясения . . . . .	78
3.7	Пулинец С.А., Будников П.А., Пулинец М.С. Методика распознавания ионосферных предвестников землетрясений на фоне геомагнитной возмущенности . . . . .	79
3.8	Сурков В.В., Пилипенко В.А. Могут ли вариации активности радона в сейсмоактивном регионе воздействовать на ионосферу? . . . . .	80
3.9	Гапеев М.И. Моделирование зон геоакустического излучения перед сильными землетрясениями на Камчатке, произошедшими в период с 2019 по 2021 г. . . . .	81
3.10	Пархомов В.А., Хомутов С.Ю., Цэгмэд Б., Ведерникова Т.И. Некоторые аспекты проявления глобальных геомагнитных сигналов как предвестников сильных землетрясений . . . . .	82
3.11	Баталева Е.А. О динамике электромагнитных параметров литосферы Северного Тянь-Шаня . . . . .	82

3.12	Богданов В.В., Павлов А.В. Оценка вероятности наступления землетрясения в Камчатском регионе по сейсмологическому и комплексу ионосферных предвестников . . . . .	83
3.13	Лыскова Е.Л., Санников К.Ю., Аржаненкова А.Н. Поляризационный анализ в исследованиях радиальной анизотропии . . . . .	84
3.14	Дубров М.Н., Волков В.А., Ларионов И.А., Мрлина Я., Полак В., Александров Д.В. Применение разнесенной системы лазерных интерферометров и наклономеров для обнаружения предвестников землетрясений . . . . .	86
3.15	Сурков В.В. Физические механизмы несейсмических явлений, сопутствующих землетрясениям. Обзор . . .	87
3.16	Сычев В.Н., Сычева Н.А., Кульков Д.С. Энтропия Тсаллиса в анализе сейсмологических и экспериментальных данных . . . . .	88
3.17	Твердый Д.А., Паровик Р.И., Макаров Е.О., Фирстов П.П. Эредитарная математическая модель Риккати с запаздыванием для исследования динамики концентрации радона в накопительной камере . .	89

<b>Авторский указатель</b>	<b>91</b>
----------------------------	-----------

# 1 Физика атмосферы

## 1.1 Experimentum crucis: возрастания фонового гамма-излучения при осадках в акватории Ледовитого океана

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

*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*

В ходе морской научной экспедиции с помощью многоканального комплекса для мониторинга космических лучей проводились непрерывные измерения фонового потока гамма-излучения (диапазон энергий 20-600 кэВ). Во время плавания в акватории Баренцева и Гренландского морей были зарегистрированы типичные возрастания гамма-излучения во время осадков. Такие же возрастания много лет отмечаются на станциях в Апатитах, Баренцбурге (арх. Шпицберген), Ростове-на-Дону, Нейтрино (Северный Кавказ), г. Хулугай (Восточные Саяны). Впервые наблюдения вариаций гамма-излучения проведено в открытом море. Амплитуда возрастных составила  $\sim 20\%$ , длительность — 2–3 часа. Ценность этих наблюдений состоит в том, что окончательно исключается гипотеза повышенного выделения радионуклидов из почвы во время осадков. Наблюдение возрастных гамма-фона в сотнях километров от береговой линии однозначно указывает, что причиной возрастания не могут быть ни выделения радионуклидов из почвы, ни перенос промышленных выбросов воздушными массами.

## 1.2 Вариации параметров атмосферы и ионосферы Земли во время воздействия мощного коротковолнового радиоизлучения стенда «Сура»

*Белецкий А.Б.<sup>1</sup>, Насыров И.А.<sup>2</sup>, Сыренова Т.Е.<sup>1</sup>, Когогин Д.А.<sup>2</sup>, Грач С.М.<sup>3</sup>, Шиндин А.В.<sup>3</sup>, Загретдинов Р.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт солнечно-земной физики СО РАН, Россия*

<sup>2</sup> *Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия*

<sup>3</sup> *Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Россия*

В работе анализируются пространственное распределение интенсивности атмосферной эмиссии атомарного кислорода 630 нм и пространственная картина полного электронного содержания (ПЭС), полученные во время экспериментальных кампаний 2012–2018 гг. по воздействию на ионосферу мощного коротковолнового радиоизлучения стенда «Сура». Оптические измерения проводились с помощью широкоугольной системы КЕО Sentinel (поле зрения 145°, полуширина интерференционного фильтра  $\sim 2$  нм, экспозиция 30с), расположенной в  $\sim 170$  км к востоку от стенда на территории магнитной обсерватории КФУ. Карты ПЭС строились на основе широкой сети ГНСС-станций, расположенных в окрестности стенда. Измерения проводились как во время включения стенда, так и без его воздействия, что позволяет анализировать влияние излучения стенда на вариации, проявляющиеся в интенсивности атмосферной эмиссии атомарного кислорода 630 нм и ПЭС. При обработке данных использовался разработанный ранее алгоритм географической привязки кадров оптической системы КЕО Sentinel.

### **1.3 Влияние ионов кислорода на формирование токового слоя в хвосте магнитосферы Земли**

*Сецко П.В., Мингалев О.В.*

*Полярный Геофизический Институт*

По данным наблюдений на спутниках Cluster, Themis, ISEE, Imp7 в плазменном слое на различных расстояниях от Земли присутствуют потоки ионов кислорода, вытекающие из ионосферы вдоль силовых линий магнитного поля. В возмущенных условиях на предварительной фазе суббури эти потоки усиливаются. В работе исследуется влияние ионов кислорода на формирование тонкого токового слоя в ближнем хвосте магнитосферы Земли при помощи численного моделирования. Показано, что тонкий токовый слой может поддерживаться одними потоками относительно «холодных» ионов кислорода с температурой  $\sim 0.2-0.4$  кэВ, причем ширина слоя примерно в 1.5 раза больше по сравнению с аналогичным слоем на одних протонах, а в профилях плотности тока и концентрации усиливается характерное раздвоение (бифуркация). Также показано, что возможны конфигурации этого токового слоя, поддерживаемые потоками ионов кислорода и потоками протонов, в которых ионы кислорода переносят значительную часть тока.

### **1.4 Влияние солнечной активности на возрастания фонового гамма-излучения при осадках**

*Балабин Ю.В.*

*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*

На станции космических лучей ПГИ (Апатиты) мониторинг электромагнитной компоненты вторичного космического излучения ведется с 2010 г. В качестве детектора фонового гамма-излучения используется спектрометр, созданный на основе кристалла NaI(Tl), эффективный в энергетическом диапазоне 20–600 кэВ. Был обнаружен эффект возрастания гамма-излучения при осадках. Анализ данных показал, что возрастания гамма-излучения при осадках наблюдаются круглый год на всех станциях,

где проводятся наблюдения. Эти возрастания не связаны с радиоактивным загрязнением осадков. В данной работе представлен результат анализа событий возрастания гамма-излучения при осадках за весь 24-й солнечный цикл и выполнено сравнение параметров возрастаний при различных фазах солнечной активности. Обнаружено, что фоновый уровень гамма-излучения слабо зависит от фазы солнечного цикла, в то же время в событиях возрастания гамма-излучения при осадках наблюдается явная зависимость от солнечной активности.

## 1.5 Высыпание высокоэнергетических электронов в атмосферу по данным аэростатных и спутниковых наблюдений

*Миронова И.А.<sup>1</sup>, Синнхубер М.<sup>2</sup>, Базилевская Г.А.<sup>3</sup>,  
Бортакур М.<sup>2</sup>, Гранжин Д.В.<sup>1</sup>, Махмутов В.С.<sup>3</sup>,  
Розанов Е.В.<sup>1,4,5</sup>, Суходолов Т.В.<sup>1,4,5</sup>*

<sup>1</sup> *Кафедра физики Земли, физический факультет,  
Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*

<sup>2</sup> *Институт метеорологии и климатических исследований,  
Технологический институт Карлсруэ, Германия*

<sup>3</sup> *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия*

<sup>4</sup> *PMOD/WRC и IAC ETHZ, Швейцария*

<sup>5</sup> *Институт атмосферных и климатических наук, ETH Zurich,  
Швейцария*

Оценка реакции атмосферы на высыпание энергичных электронов важна для корректного описания процессов в атмосфере Земли. Чтобы правильно количественно оценить эти эффекты с использованием химико-климатических моделей, спектр выпадающих частиц должен быть известен с высокой точностью во всем диапазоне высыпающихся электронов. Обычно спектры высыпания энергичных электронов получают с помощью спутниковых инструментов, которые обеспечивают глобальный охват с разреженным временным и пространственным разрешением и ограниченным энергетическим охватом. Баллонные наблюдения дают ценные дополнительные сведения о реальных потоках высыпающихся в атмосферу электронов и их энергетических спектрах. В этом исследова-

нии мы используем комбинацию аэростатных и спутниковых данных для оценки потери озона с помощью химико-климатических моделей с высокой точностью.

Работа выполнена в рамках проекта германо-российского сотрудничества «Н-ЕРИС», финансируемого Российским фондом фундаментальных исследований (проект РФФИ № 20-55-12020) и Немецким исследовательским фондом DFG (грант SI 1088/7-1).

## **1.6 Годовой ход максимума суточной вариации атмосферного электричества на Камчатке**

*Смирнов С.Э.*

*Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Суточная вариация атмосферного электрического поля, измеренная в условиях хорошей погоды над поверхностью океанов, имеет характерную форму, называемой унитарной вариацией. Она привязана к всемирному времени и происходит одновременно по всей планете. Однако суточная вариация, измеренная на суше, зависит от множества локальных факторов. Максимум суточного хода градиента потенциала электрического поля, измеренного на обсерватории Паратунка, имеет максимум близкий по времени к максимуму унитарной вариации. В работе показано что этот максимум определяется локальными условиями и по времени привязан к восходу Солнца. Максимум суточного хода градиента потенциала электрического поля, измеренного на обсерватории Паратунка в условиях хорошей погоды, имеет годовой ход, совпадающий с годовым ходом локального времени восхода Солнца.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## 1.7 Грозовая активность при извержении вулканов северной группы

Малкин Е.И.<sup>1</sup>, Фирстов П.П.<sup>2</sup>, Чернева Н.В.<sup>1</sup>, Дружин Г.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН»*

Извержение вулкана является катастрофическим процессом, который в дальней зоне воздействия представляет наибольшую опасность в виде эруптивного облака (ЭО), состоящего из пепла и вулканических газов. Мониторинг распространения ЭО, осуществляющийся различными методами, позволяет оповестить о пепловой опасности, что дает возможность принять превентивные меры с целью уменьшения последствий. Одним из методов определения местоположения ЭО является определение местоположения молниевых разрядов, возникающих в сопутствующей вулканической грозе. В работе приведены случаи регистрации молниевой активности ОНЧ-пеленгатором (30 Гц – 40 кГц), расположенным в комплексном геофизическом экспедиционном стационаре (КГЭС) «Карымшина», во время сильных эксплозий вулканов Шивелуч и Безымянный в период с 2017 г. по 2019 г. выявлены особенности электромагнитных импульсов, соответствующих различным стадиям развития вулканической грозы.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## 1.8 Исследование влияния фрактальности среды на электрическое поле в грозовых облаках

Кумыков Т.С.<sup>1</sup>, Дрекслер П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт прикладной математики и автоматизации КБНЦ РАН*

<sup>2</sup> *Технологический университет БРНО, Чешская Республика*

Как в классических работах прошлого столетия, так и в работах современных геофизиков особое внимание уделяется возрастающей зависимости человечества от грозовых явлений в атмосфере.

С каждым годом становится все острее потребность в исследовании электрического состояния и прогнозе грозовой деятельности кучево-дождевых облаков. Современный уровень знаний физических и, особенно, электрических, процессов, протекающих в грозовых облаках, еще не позволяет решать эти задачи в соответствии с глобальными запросами. Объективную физическую картину развития грозовых процессов в облаках не удастся построить в значительной мере из-за ограниченности экспериментальных данных об электрических параметрах активной грозовой зоны на различных стадиях развития облаков. Поэтому исследования, направленные на развитие представлений об электрофизических процессах в грозовых облаках опирающиеся на различные аппараты математического моделирования, которые позволяют адекватно их описывать, носит актуальный характер.

В последние десятилетия значительно расширились исследования физических процессов в грозовых облаках, в которых облако рассматривается как фрактальный объект.

Облака относятся к нерегулярным самоафинным фракталам, и процессы, протекающие в такой среде, описываются дифференциальными уравнениями, содержащими производные дробного порядка. Такой подход позволяет неявно включать дополнительные факторы взаимодействия физической системы. Одним из таких факторов является фрактальность облачной среды. Фрактальная среда представляет собой среду, распределенную в пространстве, массовая размерность которой меньше размерности заполняемого пространства. Учет этого фактора с применением аппарата дробного интегро-дифференцирования принципиально меняет рассматриваемые уравнения динамики атмосферных процессов, превращая их в дифференциальные уравнения дробного порядка.

Для физики облаков представляет большой интерес разработка математических моделей конвективных облаков с детальным учетом влияния фрактальности среды на различные геопроцессы в облаках, способствующих развитию общей картины физики облаков. Грозовые облака с мощными конвективными токами имеют фрактальную структуру с фрактальной размерностью, равной 1,36. В работах исследованы атмосферные процессы с использованием фрактальных структур. Фрактальные структуры являются следствием многих процессов и явлений необратимого роста, например таких, как диффузия, агрегирование, разрушение, перколяция, динамический хаос, растворение и процессы в них хорошо описыва-

ются с помощью аппарата дробного исчисления. Это относится и к грозovým облакам, в которых придается существенное значение исследованию электрического поля.

Объектом исследования в данной работе является грозвое облако, в которой рассматривается степень влияния фрактальности облачной среды на напряженность стационарного электрического поля с применением аппарата дробного интегрирования.

## **1.9 Исследование особенностей динамики стратосферы Арктики и их влияния на тропосферу в зимние сезоны 2019–20 и 2020–21 гг.**

*Варгин П.Н.<sup>1,2</sup>, Лукьянов А.Н.<sup>1</sup>, Цветкова Н.Д.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Центральная аэрологическая обсерватория,  
Московская область*

<sup>2</sup> *ИФА РАН им. Обухова, г. Москва*

С использованием данных реанализа NCEP и ERA5 проанализированы изменения зонального ветра, температуры и распространения планетарных волн в зимние сезоны 2019–20 и 2020–21 гг., резко отличающиеся циркуляцией стратосферы Арктики. Сезон 2019–20 г. характеризовался необычайно сильным и холодным стратосферным полярным вихрем из-за заниженного распространения волновой активности из тропосферы. В результате весной 2020 г. наблюдалось очень сильное разрушение озонового слоя. С использованием данных озонозондов суммарная величина химического разрушения озона составила 157 ед. Добсона. Циркуляция тропосферы характеризовалась положительной фазой Арктической осцилляции (АО) с сильным зональным переносом и положительным аномалиям температуры во многих регионах. Сезон 2020–21 г. характеризовался полярным вихрем, ослабленным в начале января в результате главного внезапного стратосферного потепления, сопровождавшегося усилением Алеутского антициклона. В результате разрушение озона было минимальным. В начале февраля 2021 г. над северо-востоком Евразии наблюдалось распространение потоков волновой активности в

стратосферу и отражение в нижнюю стратосферу и тропосферу над северо-западом Канады, которое сопровождалось усилением области пониженного давления и похолоданием. В декабре – феврале фаза АО была отрицательной с усиленным меридиональным переносом и отрицательными аномалиями температуры во многих регионах. Проведено моделирование траекторий, расчет М-функции для исследования изменчивости тонкой горизонтальной структуры стратосферного полярного вихря и его границы.

### **1.10 КНЧ диапазон электромагнитного излучения грозового разряда как индикатор спрайта**

*Дружин Г.И.<sup>1</sup>, Малжин Е.И.<sup>1</sup>, Капустина О.В.<sup>2</sup>,  
Михайлов Ю.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

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

Спрайты были обнаружены недавно и случайно, в 1989 году. Регистрируют их в основном с помощью оптических камер. Поскольку грозы и спрайты можно регистрировать в КНЧ-ОНЧ диапазоне, мы попытались зарегистрировать спрайты. Для этого отфильтровывались излучения от грозовых разрядов в диапазоне до 1 кГц интервала в 20 мс, превышающие среднее значение энергии на 7 дБ, оцененные в течение 1 минуты. Затем на этом интервале выделялись атмосферерики и определялись характеристики: максимумов в ОНЧ и КНЧ диапазонах, полярности первых полупериодов атмосфериков в КНЧ-диапазоне. Подсчитывалось число 20-секундных интервалов, превышающих средний уровень энергии на 7 дБ, и число обнаруженных в этих интервалах «хвостов» атмосфериков, которые могут свидетельствовать о наличии спрайтов.

## 1.11 Моделирование ионизации атмосферы Земли протонами галактических и солнечных космических лучей

*Маурчев Е.А., Германенко А.В., Балабин Ю.В.*

*Полярный геофизический институт*

Немаловажной задачей физики космических лучей является проведение оценки радиационной безопасности во время вспышек на Солнце, которые сопровождаются событиями возрастания скорости счета на нейтронных мониторах, называемыми GLE (Ground level enhancement). Это явление можно объяснить тем, что в потоке первичных протонов увеличивается количество частиц в диапазоне энергий от 1 ГэВ до 10 ГэВ, способных терять свою энергию как на ионизацию, так и глубоко проникать в атмосферу, вызывая каскадные процессы. В Полярном геофизическом институте был разработан программный комплекс RUSCOSMICS, главной из возможностей которого является способность получать высотные профили ионизации для заданного участка атмосферы, используя в качестве входных данных спектры первичных протонов космических лучей, как солнечных, так и галактических. При этом методика расчета спектров, а также конусов приема и питч-угловых распределений также разработана в Полярном геофизическом институте. Важной особенностью, используемой в этой работе, является то, что при моделировании взаимодействия частиц используются параллельные вычисления (на базе вычислительного центра с установленным сопроцессором Intel Xeon Phi 5110 и основным процессором Intel Core i7), что позволяет расширить применимость модели с локального участка на глобальную геометрию атмосферы Земли. В работе представлены результаты, полученные как для галактических, так и для солнечных космических лучей в виде ионограмм на высотах от 1 км до 80 км с шагом 1 км для всех значений широты и долготы с шагом 5 градусов. Ранее нами также проводилась верификация модели с использованием данных, полученных во время запуска шаров-зондов, на сегодня эта часть исследования продолжается, включая также в себя разработку собственной системы измерения потоков заряженных частиц.

## 1.12 Моделирование спектров излучения молекул ОН и OD в ультрафиолетовой области

*Сулакшина О.Н., Борков Ю.Г.*

*ИОА СО РАН*

В работе проведено моделирование спектров излучения двухатомных стабильных радикалов ОН и OD в ультрафиолетовом диапазоне для электронных систем  $A^2\Sigma^+ - X^2\Pi$  и  $B^2\Sigma^+ - X^2\Pi$ . Для моделирования использовалась программа «SpecRad», созданная авторами. Молекулярные параметры необходимые для расчета частот переходов в указанных электронных системах были найдены путем обработки доступных экспериментальных данных. Вероятности переходов определялись на основе имеющихся литературных данных. Модельные спектры сравнивались с экспериментальными.

## 1.13 Моделирование чувствительности глобальной атмосферной циркуляции и планетарных волн к изменениям солнечной активности

*Гаврилов Н.М.<sup>1</sup>, Коваль А.В.<sup>1</sup>, Погорельцев А.И.<sup>2</sup>,  
Ермакова Т.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет*

<sup>2</sup> *Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербургский государственный 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. Изменения солнечной радиации, обусловленные циклическими изменениями солнечной активности (СА), влияют на тепловую структуру и изменяют условия распространения и отражения волн в различных слоях атмосферы. Используя численное моделирование общей атмосферной циркуляции для условий зимы

в северном полушарии, получены статистически достоверные свидетельства того, что изменения СА в термосфере на высотах более 100 км могут влиять на условия распространения и отражения ПВ, способствуя изменению циркуляции средней атмосферы. Используется численная механистическая модель (МСВА), позволяющая воспроизводить атмосферную циркуляцию и структуры ПВ на высотах 0–300 км. Для достижения достаточной статистической значимости получены ансамбли прогонов модели, соответствующие низкой и высокой СА. Результаты, усредненные по этим ансамблям, показывают, что воздействие СА на высоте более 100 км может значительно изменять поля среднего зонального ветра и температуры на высотах ниже 100 км. Основным механизмом этих изменений является изменение условий распространения и отражения ПВ, генерируемых в нижних слоях атмосферы. Например, статистически значимые изменения амплитуд СПВ, связанные с изменением СА на высоте более 100 км, достигают в средней атмосфере 10–15 процентов в зависимости от зонального волнового числа. Изменения амплитуд волн соответствуют вариациям потока Элиассена-Пальма, и могут варьировать динамическое и тепловое воздействия ПВ на средний ветер и температуру.

### **1.14 Мониторинг прозрачности атмосферы в ночное время на основе данных оптических инструментов Национального Гелиогеофизического Комплекса**

*Белецкий А.Б., Сыренова Т.Е., Васильев Р.В., Татарников А.В.,  
Щеглова Е.С.*

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Россия*

В работе рассматривается возможность мониторинга прозрачности атмосферы в ночное время суток с помощью наземных оптических инструментов Национального Гелиогеофизического Комплекса (камеры всего неба, спектрометры видимого и инфракрасного диапазонов, фотометры, интерферометры Фабри-Перо). Оценка прозрачности основана на одновременной регистрации интенсивности звезд известной светимости с разными углами места и в различных узких спектральных диапазонах. Автоматическое распознавание и идентификация звезд на кадрах широкоугольных оптических

систем проводится с помощью ранее разработанного программного обеспечения. Контроль прозрачности атмосферной толщи в ночное время позволит увеличить точность измерения интенсивности атмосферных эмиссий, а также эффективность идентификации возмущений в собственном излучении верхней атмосферы, индуцированными, в том числе, мощными тропосферными и литосферными источниками.

Работа выполнена в рамках Крупного проекта Министерства науки и высшего образования «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории» (грант № 13.1902.21.0033).

### **1.15 Мюонный телескоп в комплексной системе регистрации космических лучей в Апатитах**

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

*Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия*

На станции космических лучей Полярного геофизического института в Апатитах был создан мюонный телескоп (МТ). Это самый северный МТ в мире. Телескоп имеет две пластины сцинтиллятора, разделенных слоем свинца 10 см. Электронная схема обеспечивает следующие выходные каналы: верхний сцинтиллятор, нижний сцинтиллятор и канал совпадений между импульсами верхнего и нижнего детекторов. МТ включен в систему мониторинга вторичных космических лучей в Апатитах. Солнечная активность в 2020 г. находилась в минимуме, значительных вариаций космических лучей, как показывают данные нейтронных мониторов, в этот период не было. Отмечены только сезонные вариации потоков мюонов, связанные с процессами в атмосфере. Кроме того, данные МТ используются при анализе вариаций мягкого гамма-излучения, связанного с осадками. Также данные МТ используются для верификации численных моделей распространения космических лучей в атмосфере путем сравнения расчетного потока заряженных частиц на уровне земли и реально наблюдаемого.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-77-10018, <https://rscf.ru/project/18-77-10018/>.

## 1.16 Наблюдения резонансного рассеяния в термосфере и верхней мезосфере в зимний сезон 2021 г.

*Бычков В.В.<sup>1</sup>, Середкин И.Н.<sup>1</sup>, Дмитриев А.В.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космofизических исследований и распространения  
радиоволн ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Национальный центральный университет, Тайвань*

<sup>3</sup> *МГУ*

Представлен анализ данных лидарной станции Камчатки, полученных в январе–феврале 2021 года. Выраженные светорассеивающие слои обнаружены на высотах около 300 км. Слои на этих высотах появляются при высыпаниях электронов с энергиями около 300 эВ. Анализ лидарных данных показал, что на высотах мезосферы наблюдалось повышенное светорассеяние, сопровождавшееся ростом ионосферного параметра  $f_{min}$ . Сделан вывод о том, что наблюдавшиеся аэрозольные образования в области мезопаузы могли быть вызваны высыпаниями заряженных частиц с энергиями меньше 500 эВ. Аэрозольные образования в области 60–75 км должны быть признаны мнимыми. Они могут вызываться резонансным рассеянием на возбужденных ионах атомарного азота.

## 1.17 Новые спектроскопические данные о линиях поглощения молекул $H_2O$ и $CO_2$

*Петрова Т.М.<sup>1</sup>, Дейчули В.М.<sup>1</sup>, Солодов А.М.<sup>1</sup>, Солодов А.А.<sup>1</sup>,  
Лаврентьева Н.Н.<sup>1</sup>, Китаева А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,  
Россия*

<sup>2</sup> *Томский Государственный Университет, Россия*

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. Двоокись углерода ( $CO_2$ ) и метан ( $CH_4$ ) 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.

Авторы благодарят за финансовую поддержку РФФИ (гранты № 18-45-700011 р\_а и № 19-03-00389А).

## **1.18 О точности определяемых видимых границ полярных сияний в модели OVATION Prime (PC)**

*Николаев А.В., Долгачёва С.А., Черняева С.А.*

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт*

Оценка положения экваториальных границ аврорального овала при разных магнитосферных условиях, несёт в себе информацию о формирующихся плазменных структурах, глубине

их проникновения во внутреннюю магнитосферу, движении внутренней границы плазменного слоя и т.д. Развитие алгоритмов определения положения видимой экваториальной границы аврорального овала является важной частью исследований, связанных с разработкой моделей химического состава ионосферы, моделей авроральных высыпаний частиц и оценки точности этих моделей. Немаловажную роль исследования полярных сияний (прогноз, интенсивность, положение) играют и для развития туристического сегмента в Арктике и информационных ресурсов служб мониторинга и прогноза космической погоды. В рамках исследования оценки точности положения видимых границ овала сияний в моделях авроральных высыпаний частиц была выбрана наземная наблюдательная сеть оптических камер всего неба проекта THEMIS, запущенная в 2008 г., и модифицированная модель OVATION Prime (PC), разработанная в отделе Геофизики ФГБУ «ААНИИ», использующая в качестве входного параметра наземный индекс полярной шапки (PC-индекс).

### 1.19 Определение содержания метана и оксидов углерода из атмосферных спектров солнечного излучения

Чеснокова Т.Ю.<sup>1</sup>, Ченцов А.В.<sup>1</sup>, Рокотян Н.В.<sup>2</sup>, Захаров В.И.<sup>2,3</sup>, Трифонова-Яковлева А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН*

<sup>2</sup> *Уральский федеральный университет*

<sup>3</sup> *Институт математики и механики УрО РАН*

Диоксид углерода ( $CO_2$ ), монооксид углерода ( $CO$ ) и метан ( $CH_4$ ) в больших количествах являются токсичными газами, а также влияют на парниковый эффект. Увеличение их концентрации в атмосфере происходит, как за счет антропогенных факторов, так и за счет естественных причин (природные пожары, вулканические выбросы). Поэтому проводится регулярный мониторинг содержания оксидов углерода и метана в атмосфере с использованием дистанционных спектроскопических методов, в которых решается обратная задача определения содержания газа из спектров солнечного излучения, измеренных спутниковыми и наземными прибора-

ми. В нашей работе проведено моделирование атмосферного переноса солнечного излучения в ближнем ИК диапазоне и определено содержание  $CO_2$ ,  $CO$  и  $CH_4$  в столбе атмосфере из солнечных спектров, измеренных на наземном Фурье-спектрометре, расположенном в обсерватории Коуровка, Екатеринбург. Сделано сравнение со спутниковыми измерениями. Оценено влияние исходной спектроскопической информации по линиям поглощения атмосферных газов и метеорологических параметров атмосферы на точность решения обратной задачи определения содержания газов. На основе комплексного подхода с использованием большого массива измерений и статистических критериев оценки качества решения обратной задачи были получены рекомендации по применению спектроскопических баз данных по линиям поглощения в задачах дистанционного зондирования содержания газов, что позволяет повысить точность определения содержания газов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке в рамках государственного задания ИОА СО РАН и проекта РФФИ (грант № 18-45-700011 p\_a).

## **1.20 Особенности грозовой активности в Арктике по наблюдениям в бухте Тикси**

*Торопов А.А.*

*ИКФИА СО РАН*

В работе приводятся результаты исследования ближних гроз с 2014 по 2020 год в бухте Тикси (Полярная геокосмофизическая обсерватория ИКФИА СО РАН, 71,35' N, 128,46' E). Для регистрации ближних гроз используется электростатический флюксметр Volttek EFM-100. Грозы проявляются в данных электростатического флюксметра в виде резкого скачка большой амплитуды и плавного спада в течение единиц или даже десятков секунд, что позволяет надежно идентифицировать каждую молнию в радиусе 15-20 километров от пункта наблюдения. Диапазон измеряемой напряженности электрического поля:  $+/- 20$  кВ/м, с точностью  $+/- 10$  В/м. Разрешение данных — одна секунда. Электростатический флюксметр размещен на крыше здания нейтронного монитора ПГО Тикси.

По результатам исследования показано, что каждый год в окрестностях пункта наблюдения происходят грозы. Длительность гроз: от 18 минут до 150 минут. Количество молниевых разрядов зарегистрированных за одну грозу имеет большой разброс — от 3-х до 138 разрядов. Интенсивность молниевых разрядов: от 1 молнии каждые 36 секунд до 1 молнии каждые 50 минут.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта номер 18-45-140028 р\_а.

## **1.21 Оценка приземной метеорологии на изменения облачной микрофизики, вызванной аномалиями тока ясной погоды $J_z$ под воздействием межпланетного магнитного поля**

*Карагодин А.В.<sup>1</sup>, Миронова И.А.<sup>1</sup>, Розанов Е.В.<sup>2,1</sup>*

<sup>1</sup> *Кафедра физики Земли, физический факультет, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия*  
<sup>2</sup> *PMOD/WRC and IAC ETHZ, Switzerland*

В ходе данного исследования в качестве основного инструмента анализа солнечно-земных связей мы использовали химико-климатическую модель SOCOLv3, чтобы оценить реакцию приземных метеорологических параметров на изменение скорости автоконверсии в облаках из-за вариаций в плотности тока  $J_z$ . Мы обнаружили, что даже небольшие изменения в  $J_z$  и соответствующие изменения скорости автоконверсии в регионах, где возникают аномалии электрического потенциала полярной шапки, вызванные  $B_u$  компонентой межпланетного магнитного поля, могут привести к крупномасштабным аномалиям в приземном давлении и температуре воздуха в высоких и средних широтах. Работа показывает важность дальнейшего исследования связи между солнечной активностью и приземной метеорологией через Глобальную Электрическую Цепь с использованием глобальных климатических моделей.

Работа выполнена в СПбГУ «Лаборатория исследования озонового слоя и верхней атмосферы» при поддержке Министерства

науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2021-583.

Работа выполнена в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований (Проект РФФИ № 19-35-90134).

## 1.22 Последствия ранних внезапных стратосферных потеплений

*Ермакова Т.С.<sup>1,2</sup>, Коваль А.В.<sup>1</sup>, Ожумличева А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет*

<sup>2</sup> *Российский государственный гидрометеорологический университет*

Канадские внезапные стратосферные потепления (КВСП) происходят в начале зимы в стратосфере Северного полушария, обычно с середины ноября до начала декабря. Несмотря на то, что определение ВСП и их классификация были сформулированы уже давно, именно о КВСП мало что известно. Цель работы — определение частоты образования КВСП и анализ их проявления в зимней стратосфере северного полушария с использованием данных двух реанализов JRA-55 и MERRA-2. Анализ исследованных зим (с 1958 года) показал, что КВСП наблюдаются в каждом десятилетии от 2 случаев и более. Известно, что частота «классических» ВСП снижена в 1990–1999 гг. В соответствующих исследованиях не учитывались КВСП, однако по полученным результатам именно частота КВСП увеличилась в это десятилетие.

Потепление фиксируют, когда состояние зональной компоненты ветра имеет отрицательный знак, ее традиционно смотрят на средних широтах, а аномалию температуры в полярной области. Результаты данных лет показали, что аномалия по температуре в ноябре продолжается, как правило, недолго и ее величина не столь значительна при сравнении с ВСП, имеющими место в зимние месяцы. Обращает на себя внимание поведение зональной компоненты: обращение зональной составляющей может наблюдаться от нескольких дней до пары недель. Последствия такого обращения по-разному проявляются в динамике полярной стратосферы. Если зональная составляющая имеет отрицательное значение продолжительное время, то следующее «классическое» ВСП во второй половине декабря или в начале января приводит к расщеплению

стратосферного полярного вихря (ПВ). При не продолжительном обращении, последующее ВСП имеет тенденцию только к смещению или вытягиванию ПВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках проекта № 20-77-10006.

### **1.23 Реакция мезосферы и нижней термосферы на динамику нижележащей атмосферы**

*Зоркальцева О.С., Васильев Р.В., Саункин А.В., Подлесный С.В.*

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутский  
Государственный Университет*

В работе изучена реакция мезосферы-нижней термосферы (МНТ) на внезапные стратосферные потепления (ВСП) и активность планетарных волн (ПВ). Было проанализировано оптическое излучение 557,7 нм для определения ветра и температуры МНТ с помощью единственного в России интерферометра Фабри-Перо (ИФП). ИФП расположен на средних широтах Восточной Сибири на территории обсерватории Торы (ТОР) Института солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ СО РАН, 51,8° с.ш., 103,1° в.д.). Регулярный интерферометрический мониторинг начался в декабре 2016 года. В работе выполнен анализ временных изменений интенсивности излучения 557,7 нм, а также колебаний ветра и температуры, измеренных в течение зимы 2016–2021 годов. Оказалось, что и ВСП, и ПВ имеют одинаково сильные эффекты в верхних слоях атмосферы. Когда эмиссия 557,7 нм уменьшается из-за некоторых влияний снизу (ВСП или ПВ), температура значительно увеличивается, как и ее дисперсия в течении ночи. Дисперсия зонального ветра не показывает значительных изменений, коррелирующих с ПВ и ВСП, но преобладающий зональный ветер МНТ меняет направление во время основных событий ВСП одновременно с усредненным зональным ветром на 60<sup>0</sup> с.ш. в стратосфере.

## 1.24 Реакция системы ионосфера–атмосфера на солнечные вспышки и высыпания энергичных частиц во время экстремальных событий

*Миронова И.А.<sup>1</sup>, Клименко М.В.<sup>1,2</sup>, Пикулина П.О.<sup>1</sup>, Розанов  
Е.В.<sup>1,3,4</sup>, Суходолов Т.В.<sup>1,3,4</sup>, Яковчук О.С.<sup>1,5</sup>*

<sup>1</sup> *Кафедра физики Земли физического факультета  
Санкт-Петербургского государственного университета, Россия*

<sup>2</sup> *ИЗМИРАН, Россия*

<sup>3</sup> *PMOD / WRC и IAC ETHZ, Швейцария*

<sup>4</sup> *Институт атмосферных и климатических наук, ETH Zurich,  
Швейцария*

<sup>5</sup> *Институт исследований экологических систем, Оснабрюкский  
университет, Германия*

В данной работе анализируется реакция ионосферы-атмосферы на экстремальную солнечную активность. Здесь представлены новые оценки воздействия экстремальной солнечной активности на атмосферу и нижнюю ионосферу. Новые результаты дополняют наше растущее понимание того, как импульсивные солнечные события и высыпания энергичных частиц во время геомагнитных бурь, а также солнечные вспышки влияют на систему ионосфера-атмосфера Земли и обеспечивают основу для понимания их совокупного воздействия на атмосферу и климат.

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда. (Проект РНФ № 20-67-46016).

## 1.25 Результаты физического моделирования отклика градиент потенциала электрического поля атмосферы на прохождение эруптивных облаков от эксплозий вулкана Эбеко (о. Парамушир)

*Акбашев Р.Р., Фирстов П.П.*

*КФ ФИЦ ЕГС РАН*

В период с 29.07.2020 г. по 05.08.2020 г. выполнены натурные экспериментальные работы по регистрации градиент потенциала электрического поля атмосферы ( $V'$  ЭПА) во время извержений вулкана Эбеко. Зарегистрированы отклики в трех пунктах наблюдения. Пункты наблюдений были расположены от кратера вулкана по одной линии на разных расстояниях. Выделено три основных типа откликов. С целью объяснения природы зарегистрированных откликов при натурном эксперименте, было проведено физическое моделирование. Для этих целей был отобран пепел с склона вулкана Эбеко, подготовлен экспериментальный стенд. Экспериментальный стенд позволил моделировать пепловое облако и задавать его направление и скорость распространения. Устройство экспериментального стенда выполнено таким образом, чтобы заряджение частичек пепла происходило за счет трибоэлектрического эффекта. В результате физического моделирования получены отклики  $V'$  ЭПА, соответствующие откликам  $V'$  ЭПА, зарегистрированным при натурном эксперименте. Результаты физического моделирования позволили объяснить физику процесса регистрируемых откликов  $V'$  ЭПА при натурном эксперименте.

## **1.26 Релаксационные и нелинейные колебания магнитного динамо: биения в солнечной активности**

*Шевцов Б.М.*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Предложен общий и универсальный подход к проблеме динамо. Магнитное динамо рассматривается как релаксационная система, в которой ангармонические колебания возникают в результате накопления и высвобождения магнитной энергии. Нелинейный динамо-механизм определяется балансом между силами Архимеда и Лоренца. Получено обобщенное уравнение Лиенара для магнитной индукции. Основные динамо-числа рассчитаны для солнечной активности, и было показано, что магнитные колебания Солнца являются квазигармоническими. Выявлены ранее неизвестные нелинейные магнитные колебания. Обсуждаются три режима динамо в зависимости от интенсивности конвекции.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## **1.27 Термосферный лидар: резонансные отражения и обзор наблюдений**

*Шевцов Б.М.*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Рассмотрены теория резонансных отражений, статистические эффекты, коэффициент рассеяния, поперечное сечение, роль ионизации и рекомбинации, нейтральные атомы, компоненты термосферы, обратная задача рассеяния, обзор наблюдений. Обсуждаются лидарные наблюдения на сверхдлинных трассах в атмосфере.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## 1.28 Электрические структуры эруптивных облаков на примере эксплозий вулкана Эбеко и внутримассовых кучево-дождевых облаков

*Акбашев Р.Р.<sup>1</sup>, Пустовалов К.Н.<sup>2</sup>, Нагорский П.М.<sup>2</sup>,*

*Фирстов П.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *ФИЦ ЕГС РАН*

<sup>2</sup> *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН*

Проведено сравнение форм отклика градиент потенциала электрического поля атмосферы (медленных вариаций  $V'$  ЭПА), при прохождении эруптивных облаков (ЭО) от эксплозий вулкана Эбеко и внутримассовых кучево-дождевых (грозовых) облаков, представляющих собой одиночные конвективные ячейки.

Вулкан Эбеко на о. Парамушир по частоте извержений является одним из активнейших вулканов Курильской островной дуги. В октябре 2016 г. начался новый цикл активность вулкана Эбеко, выразившейся в эпизодически происходящих эксплозиях вулканского типа. При наиболее сильных эксплозиях высота их ЭО достигает 4–5 км н.у.м. В КФ ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН» ведется мониторинг  $V'$  ЭПА в г. Северо-Курильске, расположенным в 7 км от кратера вулкана. На записях отклика  $V'$  ЭПА по кинематическим и динамическим характеристикам выделены четыре типа возмущений.

В качестве примера форм отклика  $V'$  ЭПА при прохождении внутримассовых кучево-дождевых (грозовых) облаков были рассмотрены медленные вариации  $V'$  ЭПА, зарегистрированные на геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН (г. Томск).

Сравнительный анализ форм отклика  $V'$  ЭПА показал, что при прохождении эруптивных облаков и внутримассовых кучево-дождевых (грозовых) облаков отмечают подобные формы медленных вариаций  $V'$  ЭПА, однако абсолютные значения  $V'$  ЭПА в случае последних на порядок выше. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о сходстве электрической структуры эруптивных и внутримассовых кучево-дождевых облаков.

## 2 Геофизические поля и их взаимодействие

## **2.1 Анализ ионосферных параметров на основе нейронных сетей NARX**

*Мандрикова О.В., Полозов Ю.А.*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

В работе представлены результаты анализа ионосферных параметров foF2 с применением нейронных сетей NARX. Построены сети NARX разной архитектуры. При построении сетей учитывалась сложная динамика foF2, зависящая от уровня активности Солнца и сезона. Для разных нейронных сетей выполнено сравнение качества аппроксимации foF2. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0. В работе использовалось оборудование Центра коллективного пользования «Северо-восточный гелиогеофизический центр» СКР 558279, УНУ 351757.

## **2.2 Анализ короткопериодных вариаций IMF Vz и AE индекса**

*Полозов Ю.А.*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Вариации компоненты IMF Vz влияют на магнитное поле Земли, особенно при развороте на юг. Связанная с изменениями магнитосферы величина AE индекса показывает уровень энергии, проникающий в магнитосферу и ионосферу. Оба этих параметра отражают воздействие космической погоды. В работе проведен анализ короткопериодных изменений в данных IMF Vz и AE индекса. Оценена статистическая зависимость между этими параметрами. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## **2.3 Анализ особенностей пространственно-временного распределения геоэлектрических неоднородностей в земной коре и сейсмических событий**

*Баталева Е.А.*

*Научная станция РАН в г. Бишкеке*

В работе представлены результаты экспериментов, выполненных на режимных пунктах магнитотеллурического мониторинга как на территории Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань), так и по серии мониторинговых профилей, заложенных в различных геологических условиях. Ранее проведенные исследования свидетельствуют о взаимосвязи вариаций электромагнитного и сейсмического полей, лунно-солнечных приливных воздействий, сейсмического режима с процессами трещинообразования. Целью настоящей работы является установление характерных особенностей взаимосвязи между пространственно-временным распределением сейсмичности и распределения геоэлектрических неоднородностей в земной коре (разломно-блоковой тектоникой региона). На основе анализа результатов интерпретации магнитотеллурических данных (2D-инверсия) и новых детальных сейсмоотографических построений, проведена верификация геоэлектрических моделей, выполнен анализ распределения гипоцентров сейсмических событий. Особое внимание уделялось приуроченности землетрясений к разломным структурам листрической формы. Взаимосвязь между распределения гипоцентрами сейсмических событий и пространственным положением аномалий электропроводности находит свое подтверждение в предложенном авторами объяснении физической природы выявленных проводящих структур, основанном на гипотезах флюидизации и частичного расплава пород земной коры.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Научной станции РАН по теме АААА-А19-119020190063-2.

## 2.4 Анализ проявления совместного акустического и электрического отклика приповерхностных осадочных пород на деформацию сейсмическими волнами землетрясений Южной Камчатки

*Мищенко М.А.<sup>1</sup>, Руленко О.П.<sup>2</sup>, Маратулец Ю.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Продолжено исследование обнаруженного авторами ранее совместного акустического и электрического отклика приповерхностных осадочных пород на деформацию сейсмическими волнами землетрясений. Рассмотрены землетрясения с энергетическим классом  $K_s > 11.0$ , произошедшие с июня 2017 г. по май 2021 г. у восточного побережья Камчатки в полосе широт 51.7–54.0 с.ш. Из этих землетрясений выбраны 52 события, при прохождении сейсмических волн от которых наблюдался акустический отклик данных пород в пункте «Карымшина» ИКИР ДВО РАН. Рассмотрены проявление совместного акустического и электрического отклика пород и проявление как низкочастотного, так и высокочастотного ( $> 100$  Гц) их акустического отклика. Используя непараметрический корреляционный анализ Спирмена, в обоих случаях обнаружена статистически значимая связь между энергетическим классом рассмотренных землетрясений и удалением пункта наблюдений от их гипоцентра.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## 2.5 Векторный Оверхаузеровский магнитометр POS-4: опыт использования и перспективы применения

*Хомутов С.Ю.<sup>1</sup>, Сапунов В.А.<sup>2</sup>, Денисов А.Ю.<sup>2</sup>, Бородин П.Б.<sup>3</sup>, Кудин Д.В.<sup>4,5</sup>, Сидоров Р.В.<sup>4</sup>, Бебнев А.С.<sup>3</sup>, Черепанова Е.А.<sup>3</sup>, Котиков А.Л.<sup>4,6</sup>, Канониди К.Х.<sup>7</sup>, Барышев П.Е.<sup>8</sup>, Турбин Ю.Г.<sup>8</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия*

<sup>3</sup> *Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

<sup>4</sup> *Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия*

<sup>5</sup> *Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск, Республика Алтай, Россия*

<sup>6</sup> *Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН,*

*г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>7</sup> *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия*

<sup>8</sup> *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Росгидромета, г. Санкт-Петербург, Россия*

Представлены результаты практического использования векторного магнитометра POS-4, разработанного НИЛ квантовой магнитометрии УрФУ (Екатеринбург) на основе Оверхаузеровских датчиков POS. Непрерывные измерения с помощью POS-4 с 2015 г. выполняются на обсерватории «Паратунка» (ИКИР ДВО РАН, Камчатка), в 2017-2018 гг. на обсерватории «Санкт-Петербург» (ГЦ РАН / СПбФ ИЗМИРАН, Ленинградская область), с 2020 г. — на обсерватории «Аркти» (ИГФ УрО РАН, Свердловская область). Заложенная в 2018 г. новая высокоширотная обсерватория «Белое море» (ГЦ РАН / МГУ, Беломорская биологическая станция МГУ, Карелия) использует POS-4 в качестве основного вариометра. Магнитометр в апреле 2019 г. успешно использовался в полевых измерениях на льду, во время экспедиции TRANSARCTIC в Баренцевом море (ААНИИ, Росгидромет). В начале 2021 г. ИЗМИРАН приступил к тестированию двух

магнитометров POS-4 на территории обсерватории «Москва». По результатам обсерваторских и экспедиционных измерений удалось выявить преимущества и недостатки магнитометра и предоставить разработчикам информацию для его дальнейшей модернизации с целью повышения эффективности и надежности. Многолетний опыт использования POS-4 определяет области, где его научное и прикладное применение позволит получить важные результаты: например, при магнитных измерениях в районах Крайнего Севера или при мониторинге активных зон вокруг вулканов. Работа выполнялась при частичной поддержке госзадания АААА-А21-121011290003-0 и проекта РНФ 16-17-00121.

## **2.6 Высокочастотные вековые геомагнитные вариации по данным обсерваторий Михнево, Бельск и Борок**

*Рябова С.А.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского  
Российской академии наук*

Вековой (высокочастотной) вариацией принято называть изменения элементов геомагнитного поля во времени, обусловленные процессами в земном ядре. Вековые вариации геомагнитного поля не только медленно изменяются, но и склонны к кратковременным скачкам (геомагнитные джерки). В настоящем сообщении приведены результаты анализа особенностей вековой вариации магнитного поля Земли по данным регистрации геомагнитного поля на среднеширотных обсерваториях Михнево, Бельск и Борок. В ходе настоящих исследований вычислены и проанализированы трендовые составляющие компонент магнитного поля Земли. Выполнен сопоставительный анализ значений компонент геомагнитного поля, полученных при инструментальных наблюдениях на обсерваториях и вычисленных по модели IGRF / DGRF 13 версии. На основе линейной регрессии с точками переключения по данным регистрации геомагнитного поля на среднеширотных обсерваториях Михнево, Бельск и Борок выделены геомагнитные джерки.

## **2.7 Исследование акустических полей в Арктической зоне с неровным ледовым покровом**

*Короченцев В.И.<sup>1</sup>, Петросьянц В.В.<sup>1</sup>, Горовой С.В.<sup>1</sup>,  
Чен Веньцзянь<sup>2</sup>, Лобова Т.Ж.<sup>1</sup>, Шпак Ю.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Дальневосточный Федеральный Университет, Россия*

<sup>2</sup> *Харбинский инженерный университет, Китай*

Разработана математическая модель распространения упругих волн в ледовом покрове с неровным рельефом (торосы). Теоретическая модель основана на применении направленных функций Грина. Проведено математическое моделирование акустических полей в широком диапазоне частот от 10 кГц до 100 кГц в арктической зоне с неровным ледовым покрытием и проведен эксперимент, где антенна вплавлена в лед с неровностями высотой до нескольких метров. Проведены экспериментальные исследования с использованием излучающих гидроакустических антенн, разработанных авторами, на базе пневматического и электроакустического импульсного излучателя. Получены численные результаты для различных расстояний между излучающими и приемными антеннами расположенными внутри слоя льда и в водной среде. Показано, что максимальное усиление сигнала происходит при расположении излучающих и приемных систем внутри торосов. Предложены методы оптимизации расположения антенн при наличии неровных ледовых полей.

## **2.8 Исследование акустоэмиссионных сигналов, зарегистрированных в пункте наблюдений «Карымшина» в 2017 году (Камчатский край)**

*Луковенкова О.О., Солодчук А.А., Щербина А.О.*

*Институт космofизических исследований и распространения  
радиоволн ДВО РАН*

В докладе предлагается метод трехмерной визуализации частотной структуры импульсного потока геоакустической эмиссии. С помощью данного метода оценивается динамика структуры сигнала на различных временных периодах (от нескольких минут

до года). Для выделения импульсов из сигнала используется адаптивная пороговая схема, для оценки частотного заполнения отдельных импульсов — адаптивное согласованное преследование. Распределения полученных таким образом значений частот оцениваются методом гистограмм. Гистограммы строятся по данным, полученным для фрагментов геоакустического сигнала заданной минимальной длительности. Гистограммы объединяются в трехмерное представление следующим образом: по горизонтальной оси откладывается время наблюдения, по вертикальной — частота заполнения импульсов, цветом обозначается доля импульсов с соответствующим значением частоты. Данный подход может использоваться для поиска предсейсмических аномалий в геофизических импульсных сигналах.

Предлагаемый метод был использован для оценки динамики структуры сигнала геоакустической эмиссии, зарегистрированного в пункте наблюдений «Карымшина» в период с 01.01.2017 по 31.12.2017. Представлены результаты сопоставления полученного трехмерного представления с каталогом камчатских землетрясений.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## **2.9 Исследование динамических режимов дробного осциллятора Селькова в моделировании микросейсм**

*Паровик Р.И.<sup>1</sup>, Рахмонов З.Р.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Узбекистан*

Динамическая система Селькова с учетом наследственности может быть использована для описания механизма взаимодействия мелких затравочных трещин и более крупных трещин-микросейсм. Более затравочные трещины при достижении критического числа переходят в микросейсм, которые потом теряют свою энергию и большей части опять становятся более мелкими трещинами.

Процесс этот повторяется и имеет автоколебательный характер. Для того, чтобы существовал автоколебательный режим нам необходимо знать какие значения параметров необходимо для этого выбрать. Это связано с тем, что динамическая система Селькова может обладать хаотическими режимами. Поэтому в работе исследуются динамические режимы эрдитарной колебательной системы Селькова с помощью построения спектров максимальных показателей Ляпунова от параметров математической модели. Показаны области изменения параметров, при которых существует как хаотические, так и регулярные режимы.

## **2.10 Исследование электромагнитных полей в Арктической зоне с неровным ледовым покрытием**

*Короченцев В.И.<sup>1</sup>, Сюэ Вэй<sup>2</sup>, Черненко В.А.<sup>1</sup>, Эм А.А.<sup>1</sup>, Тагаев Т.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Дальневосточный Федеральный Университет, Россия*

<sup>2</sup> *Харбинский инженерный университет, Китай*

Разработаны математические модели пространственного распределения амплитуды источника электромагнитных волн, расположенного вблизи неровных поверхностей и внутри ледового покрытия. Модели основаны на теории направленных функций Грина с неоднородными граничными условиями по угловой координате.

Проведено численное исследование электромагнитных волн, распространяющихся вблизи ледового покрова с торсами различной высоты и внутри плоского слоя льда на глубине 0,2 м.

Проведены экспериментальные исследования с использованием в качестве антенны полуволновых вибраторов от 30 до 40 метров, вплавленных в лед на глубину приблизительно 0,2 метра, на частотах в диапазоне от 10 МГц до 30 МГц.

Приведены результаты экспериментальных исследований зависимостей амплитуд напряженностей электрического поля от расстояний между источниками и приемниками сигналов.

## 2.11 Источник бухтообразных отрицательных аномалий атмосферного электрического поля при тектоносейсмическом процессе

*Руленко О.П.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Рассмотрен источник бухтообразных отрицательных аномалий атмосферного электрического поля у земной поверхности, которые наблюдаются в сейсмоактивных регионах при хорошей и близкой к ней погоде. Такие аномалии возникают перед умеренными и сильными локальными землетрясениями, а также в их отсутствие, что свидетельствует о связи с тектоносейсмическим процессом. Этот процесс протекает постоянно и вызывает изменения напряженно-деформируемого состояния горных пород в режиме фонового тектонического деформирования и при подготовке землетрясений. Выяснено, что источником данных аномалий является отрицательный объемный заряд, который возникает в приземном воздухе следующим образом. Во время растяжения приповерхностных пород усиливается поступление радона и торона в атмосферу. В условиях слабого перемешивания воздуха при его устойчивой стратификации эти эманации накапливаются в некотором слое, что приводит к увеличению интенсивности ионообразования и известному в атмосферном электричестве появлению отрицательного объемного заряда легких ионов. Поступление радона и торона в атмосферу происходит повсеместно и является неотъемлемой частью «газового дыхания Земли», а отрицательный объемный заряд обнаружен многими исследователями в асейсмичных регионах, где скорость деформирования пород под действием тектонических сил меньше, чем в сейсмоактивных регионах. Рассмотрена роль каждой эманации в образовании этого заряда, который имеет деформационно-эманационную природу. Его появление и разрушение обуславливают бухтообразную форму отрицательных аномалий электрического поля.

## **2.12 Метод обнаружения помех в геомагнитных данных на основе вейвлет-преобразования и адаптивных порогов**

*Папшева С.Ю., Мандрикова О.В., Хомутов С.Ю.*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Предложен метод обнаружения помех в геомагнитных данных, основанный на совместном применении непрерывного вейвлет-преобразования и адаптивных пороговых функций. Показано, что метод позволяет выделять в геомагнитном сигнале короткопериодные особенности различной формы и длительности, характерные для периодов возникновения помех. Изучены вариации введенной меры интенсивности магнитного фона в «спокойные» периоды за 2010–2016 гг., выполнен анализ не идентифицированных помех. Результаты исследования показали высокую эффективность предлагаемого метода для обнаружения помех естественного происхождения. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## 2.13 Мониторинг ионосферной и магнитосферной плазмы и потоков заряженных частиц высоких энергий в мультиспутниковых измерениях в широком диапазоне высот

*Оседло В.И.<sup>1</sup>, Абанин О.И.<sup>1</sup>, Власова Н.А.<sup>1</sup>, Калезаев В.В.<sup>1</sup>,  
Павлов Н.Н.<sup>1</sup>, Петров В.Л.<sup>1</sup>, Подзолко М.В.<sup>1</sup>,  
Рубинштейн И.А.<sup>1</sup>, Свертилов С.И.<sup>1,2</sup>, Тулупов В.И.<sup>1</sup>,  
Шемухин А.А.<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup> *Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, физический факультет*

В околоземном космическом пространстве (ОКП) присутствуют заряженные частицы ионосферной и магнитосферной плазмы, потоков энергичных частиц радиационных поясов Земли (РПЗ), солнечных и галактических космических лучей (СКЛ и ГКЛ) в широком диапазоне энергий. Они могут привести к повреждению и выходу из строя радиоэлектронной аппаратуры, установленной на космических аппаратах (КА), могут стать причиной нарушения коротковолновой связи в высокоширотных районах, привести к сбоям в навигационных системах, снижению точности систем глобальной навигации и позиционирования. В рамках мультиспутниковых измерений на КА, выводимых на орбиты с широким диапазоном высот («Метеор» — 830 км, «Арктика» — эллиптическая орбита с высотами апогея и перигея ~39 тыс. км и ~600 км, «Электрон» — геостационар в плоскости экватора, — 36 тыс. км), в течение нескольких лет в НИИЯФ МГУ осуществлялись и продолжают осуществляться (КА «Арктика-М» №1) мониторинговые наблюдения ионосферной и магнитосферной плазмы и потоков энергичных электронов и протонов. Картина становится более полной с привлечением информации идентичных измерительных приборов. Таким прибором, разработанным и изготовленным в НИИЯФ МГУ, является спектрометр

космических излучений (прибор СКИФ) для измерений потоков, энергетических спектров, временных вариаций и углового распределения протонов и электронов РПЗ, частиц СКЛ от солнечных вспышек при их совокупном воздействии. Прибор СКИФ обеспечивает измерения спектров протонов и электронов в диапазонах энергий 2–160 МэВ, 0.15–10 МэВ соответственно (спектрометр энергичной радиации — модуль СЭР прибора СКИФ), а также измерения спектров низкоэнергичных электронов и протонов в диапазоне энергий 0.05–20 кэВ (электростатические анализаторы электронов и протонов (ЭСА) — модули СГМТД-Э и СГМТД-П). Логика модуля СЭР формирует несколько энергетических интервалов частиц каждого сорта: 6 интервалов для электронов и 12 для протонов. Весь регистрируемый энергетический диапазон 0.05–20 кэВ ЭСА как электронов, так и протонов разбит на 12 интервалов. Накоплен и продолжает умножаться богатый экспериментальный материал. Получение большого объема регулярных мониторинговых данных о радиационной обстановке в ОКП на базе многоярусных измерений позволяет изучать ее кратко- и средневременную динамику, ее связь с солнечной активностью, является необходимым условием для уточнения эмпирических и для создания прогностических динамических моделей космической погоды, для построения трехмерной динамической картины радиации в ионосфере и внутренней магнитосфере в реальном времени.

## **2.14 Может ли глобальное МГД моделирование предсказать величину геоиндуцированных токов при магнитных бурях?**

*Козырева О.В.<sup>1,2</sup>, Пилпенко В.А.<sup>1,2</sup>, Сахаров Я.А.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> *Геофизический Центр РАН, Москва*

<sup>2</sup> *Институт физики Земли РАН, Москва*

<sup>3</sup> *Полярный Геофизический Институт, Апатиты*

К настоящему времени глобальное МГД моделирование динамики околоземного пространства с использованием суперкомпьютеров достигло настолько высокого уровня, что позволяет приступить к оперативному прогнозу космической погоды и ее эффектов по данным межпланетных спутников в реальном времени. Одним из наиболее серьезных проявлений космической погоды является

возбуждение геоиндуцированных токов (ГИТ) в протяженных линиях электропередач (ЛЭП) при резких вариациях геомагнитного поля. Поскольку глобальное МГД моделирование предсказывает возмущение магнитного поля по всей поверхности Земли, то естественно возникает вопрос — может ли оно предсказать ожидаемую вариабельность поля  $dB/dt$  и амплитуду ГИТ? Для ответа на этот вопрос мы рассмотрели магнитную бурю 27–28 мая 2017 г. Для этой бури была рассчитана динамика планетарного распределения геомагнитных возмущений с помощью различных кодов глобального МГД моделирования с реалистичными условиями в солнечном ветре. Цель этой международной кампании состояла в сравнении полученных глобальных свойств геомагнитных возмущений с высоким временным разрешением (1 мин) с фактическими наблюдениями. Во время анализируемой магнитной бури магнитное возмущение постепенно увеличивалось, а затем медленно затухало. Однако во время максимального возмущения на магнитную бухту накладывались интенсивные нерегулярные пульсации P<sub>i3</sub>. Эти пульсации не являются квази-синусоидальными волнами, как типичные пульсации Pc5, а скорее представляют собой квазипериодическую последовательность магнитных импульсов с временными масштабами ~ 10–15 мин. В этот период с повышенной P<sub>i3</sub> активностью были зафиксированы очень высокие значения ГИТ (до ~ 50 А) в трансформаторных подстанциях ЛЭП на Кольском полуострове. Проведенный анализ вклада геомагнитных возмущений в быстрый рост ГИТ во время магнитной бури 27–28 мая 2017 г. показывает, что современное глобальное МГД моделирование может предсказывать возникновение бурь и суббурь («магнитосферных ураганов»), но не в состоянии воспроизвести возбуждение мелкомасштабных возмущений типа P<sub>i3</sub> пульсаций («магнитосферных молний»), которые и являются драйвером интенсивных ГИТ. Работа поддержана грантом РФФ 21-77-30010.

## 2.15 Мониторинг физических процессов в верхней атмосфере, ионосфере и магнитосфере в космическом проекте «Ионосфера»

*Свертилов С.И.<sup>1,2</sup>*

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

<sup>2</sup> *Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, физический факультет*

Рассматриваются основные цели и задачи космической миссии «Ионосфера» по мониторингу физических процессов в верхней атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли, а также солнечной активности. В рамках проекта «Ионосфера» предполагается осуществить вывод на околоземную орбиту четырех космических аппаратов с комплексом приборов, обеспечивающих контроль гелиогеофизической обстановки в верхней атмосфере, ионосфере и околоземном космическом пространстве. Космические аппараты (КА) «Ионосфера» должны функционировать на околокруговой солнечно-синхронной орбите в двух орбитальных плоскостях (по 2 КА в каждой плоскости). КА в каждой плоскости должны быть разведены на угол  $180 \pm 30^\circ$ . Параметры орбиты первой пары КА: высота  $\sim 820$  км; период обращения  $\sim 101$  мин; наклонение  $\sim 98^\circ$ ; эксцентриситет  $\sim 0.001$ ; положение плоскости орбиты относительно прямого восхождения среднего Солнца  $\sim 135^\circ$ ; местное время восходящего узла орбиты  $\sim 21$  ч. Параметры орбиты второй пары КА отличается положением плоскости орбиты относительно прямого восхождения среднего Солнца —  $\sim 46^\circ$  и местным временем восходящего узла орбиты —  $\sim 15$  ч. Запуск первой пары КА планируется в начале 2022 г., второй пары — в конце 2022 — начале 2023 гг. Научная аппаратура включает приборы для радиотомографии верхней атмосферы и ионосферы — ионозонд на диапазон 0.1–20 МГц с передатчиком 137 МГц, двухчастотный (150, 400 МГц) передатчик, приборы для контроля магнитоволновой обстановки низкочастотный волновой комплекс, датчики электрического и магнитного полей, детекторы горячей магнитосферной плазмы (электроны и протоны с энергией 0.1–20.0 кэВ) и заряженных частиц высоких энергий (электроны 0.15–10.0

МэВ, протоны 2–160 МэВ), а также спектрометр жесткого рентгеновского и гамма-излучения (0.2 – 10.0 МэВ), детектор галактических космических лучей, GPS измеритель полного электронного содержания, энергоспектрометр ионосферной плазмы и озонометр. Последние два прибора будут установлены только второй паре КА. Таким образом, в случае успешной реализации программы экспериментов на КА «Ионосфера» будет обеспечен контроль физических параметров электромагнитных полей и корпускулярных излучений в околоземном пространстве, будет получена новая информация о геофизических процессах, протекающих в магнитосфере, ионосфере и верхней атмосфере в их связи с солнечной активностью. В свою очередь, это позволит сделать выводы о возможных воздействиях указанных процессов на окружающую среду, включая наземные, морские, воздушные и орбитальные средства и системы.

## 2.16 Наблюдения атмосферных помех в западно-беринговоморской зоне

*Сивоконь В.П.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Камчатский государственный технический университет*

Устойчивость радиосвязи декаметрового диапазона существенно зависит от гео-физической обстановки, в том числе от уровня атмосферных помех. Информация о свойствах атмосферных помех, применительно к телекоммуникационным системам, содержится в рекомендациях Международного союза электросвязи. В них приводятся ожидаемые значения атмосферного радиопомех на частоте 1 МГц, а для остальных частот предлагается сделать перерасчет в предположении о том, что распределение амплитуд атмосферных помех следует логарифмически нормальному закону. Исходя из перспектив развития судоходства Северным морским путем, особенностей распространения декаметровых волн в приполярных широтах нами предпринята попытка провести реальные измерения атмосферных помех в Западно-Беринговоморской зоне. Радиооборудование судов для подобных измерений использовать невозможно, однако с появлением технологии SDR такая возможность появилась. Измерения проводились вдоль побережья Камчатки и

позволили оценить вариации параметров атмосферных помех. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## **2.17 Новая квантовая модель магнитного поля горячей Земли, Луны и планет земной группы**

*Кузнецов В.В.*

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Характер распределения скоростей P- и S-волн во внутреннем ядре Земли позволяет считать, что вещество ядра находится в квантово сцепленном состоянии, возникшем при образовании Земли и Солнечной системы. Это предположение позволяет построить квантовую модель эволюции геомагнитного поля с момента его возникновения до исчезновения. Анализ магнитных и палеомагнитных данных Земли, Меркурия, Луны и Марса в рамках модели горячей Земли, а также данных по особенностям их гравитационного поля, полученных в рамках выполнения проекта NASA, позволил получить достаточно полную картину образования и эволюции планет, а так же составить прогноз дальнейшего развития Земли и её магнитного поля. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## **2.18 О синхронности характеристик изменений магнитного момента и движений магнитного полюса, полученных по данным магнитных обсерваторий INTERMAGNET**

*Семаков Н.Н.<sup>1,2</sup>, Ковалев А.А.<sup>1</sup>, Павлов А.Ф.<sup>1,2</sup>, Федотова О.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *ИНГГ СО РАН*

<sup>2</sup> *Новосибирский государственный университет*

В данной статье авторы анализируют два вида синхронности интегральных магнитных характеристик: чисто временную и пространственно-временную. Степень чисто временной корреляции

(или анти-корреляции) интегральных угловых и силовых характеристик оценивалась для каждой магнитной обсерватории по кривым скорости перемещения расчетного магнитного полюса, а также по изменению магнитного момента (при постоянстве расстояния до эквивалентного диполя) или по изменению расстояния до эквивалентного диполя (при постоянстве его магнитного момента). При оценке пространственно-временной корреляции указанных выше характеристик использовались данные нескольких магнитных обсерваторий, входящих в INTERMAGNET и расположенных в различных регионах. Для выявления пространственно-временных особенностей магнитного поля, не связанных с суточным вращением Земли, было использовано скользящее 24-часовое осреднение с шагом 1 минута. При таком подходе за анализируемый период выявлялось от 4 до 7 существенных магнитных событий в месяц. Для проверки возможной связи таких событий в магнитном поле с изменениями напряженного состояния земной коры необходимо использование подобных «скользящих суточных» сейсмических характеристик в данном регионе.

## **2.19 Обнаружение и анализ аномальных событий в данных нейтронных мониторов на основе методов машинного обучения**

*Мандрикова Б.С.<sup>1</sup>, Дмитриев А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Национальный Центральный Университет, Тайвань*

Представлены результаты обработки данных вторичных космических лучей за периоды сильных и умеренных магнитных бурь за 2020–2021 годы. Анализ рассматриваемых событий осуществлен на основе построения нелинейных аппроксимирующих схем и нейронной сети Автокодировщик. Эмпирически подтверждена эффективность применения предлагаемых математических аппаратов для анализа данных нейтронных мониторов станций высоких и средних широт. Показана возможность программной реализации предлагаемого подхода. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0 по теме «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях».

## **2.20 Одновременные литосферно-атмосферные сигналы акустического излучения в пункте «Карымшина» на Камчатке**

*Ларионов И.А., Марапулец Ю.В., Мищенко М.А.*

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Излагаются результаты комплексных литосферно-атмосферных исследований акустического излучения в сейсмоактивном регионе (полуостров Камчатка). Для проведения мониторинга используются лазерный деформограф-интерферометр, геофон, широкополосная акустическая система и микробарометр, установленные на станции «Карымшина» ИКИР ДВО РАН. Рассматриваются деформация пород, акустическое излучение в приповерхностных породах и в атмосфере у поверхности земли. Предложена методика выявления акустических сигналов, одновременно регистрируемых в приповерхностных породах и атмосфере у поверхности земли. Она заключается в фильтрации акустического сигнала с датчиков в различных частотных поддиапазонах от долей до первых сотен герц и дальнейшем рассмотрении абсолютных значений акустического давления. Рассмотрены данные с сентября 2016 г. по декабрь 2020 г. Приводятся примеры одновременной регистрации акустических сигналов в породах и атмосфере. Исследование актуально для построения модели связи литосферы и атмосферы в сейсмоактивном регионе.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## 2.21 Отчего Земля ускоряет свое вращение с 2016 г.

*Зотов Л.В.<sup>1</sup>, Марчукова О.В.<sup>2</sup>, Бизуар К.<sup>3</sup>, Сидоренков Н.С.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Национальный Исследовательский Университет Высшая Школа Экономики*

<sup>2</sup> *Институт природно-технических систем, г. Севастополь*

<sup>3</sup> *Служба вращения Земли, Парижская обсерватория*

<sup>4</sup> *Гидрометцентр РФ*

2020 год признан научным климатическим сообществом одним из самых жарких на планете в последние десятилетия. Одновременно с этим наблюдалось аномально большая скорость вращения Земли. Продолжительность суток — length of day (LOD) достигла минимума. Это может привести к необходимости вычесть секунду из шкалы времени UTC. Интересно понять, почему, начиная с 2016 года, вращение Земли стало ускоряться.

На скорость вращения Земли влияют процессы в океане, атмосфере, недрах, приводящие к обмену угловым моментом между оболочками, а также приливы, меняющие фигуру Земли и ее тензор инерции. Если приливные и атмосферные явления в основном сказываются на годовых и внутригодовых интервалах, то многолетние колебания происходят под действием океанической изменчивости и процессов в недрах.

Замечено, что колебания в океане и атмосфере, такие как Эль-Ниньо Южное колебание, Атлантическая многолетняя осцилляция (АМО) и др. сказываются на вращении планеты. Они также затрагивают климат. Нам хотелось бы привлечь внимание к Южному колебанию и чередованию Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Ла-Нинья обычно совпадают с локальными минимумами LOD. Сильные явления Эль-Ниньо 1972–73, 1997–98, 2015–16 годов приходится на пик замедления вращения Земли, после которого происходит переход к ускорению. Такие переломы проявляют синхронизацию с 18-летними изменениями интенсивности приливов в цикле регрессии орбиты луны, с 60-летними циклами изменений амплитуды Чандлеровского колебания полюса и АМО.

В докладе будет проведено сравнение климатических факторов, многолетних процессов, угловых моментов атмосферы и океана и вращения Земли. Мы попытаемся вывести некоторые закономерности из регулярности вышеперечисленных событий.

## 2.22 Оценка появления SSC как функции географических координат от всемирного времени для ряда отобранных ICME

*Загайнова Ю.С., Громов С.В., Громова Л.И.*

*ИЗМИРАН*

Взаимодействие с магнитосферой Земли межпланетных корональных выбросов массы (ICME), сопровождающиеся межпланетными ударными волнами (ISW), приводит к изменению магнитного поля Земли. Этот процесс отражается в резком скачке изменении геомагнитного поля (SC) разной интенсивности, который в некоторых случаях может привести к развитию магнитной бури, представляя собой ее внезапное начало (SSC). Направление прихода фронта ISW, также как и скорость межпланетной ударной волны и динамическое давление солнечного ветра, могут оказывать влияние на амплитуду и время нарастания SC. Чтобы оценить направление прихода фронта межпланетной ударной волны по времени старта SSC были выбраны несколько ICME с источниками формирования в Северном и Южном полушарии Солнца и сопровождавшихся ISW. Внезапное начало бурь (SSC) фиксируется в каталоге SC, представляемом IAGA. При взаимодействии с магнитосферой Земли отобранные ICME вызвали SI с последовавшими за ними магнитными бурями. Для отобранных ICME анализировалось время старта SSC по данным сети INTERMAGNET с секундным разрешением. Для этих же ICME выполнена оценка появления SSC как функция географической широты и долготы от всемирного времени. Показано, что с приходом ICME к Земле старт SSC на наземных магнитных обсерваториях, расположенных на широтах, от высоких до экваториальных, не является одновременным: время старта SSC на разных широтах отличаются на десятки секунд. В большинстве рассмотренных событиях SSC регистрируется вначале на магнитных обсерваториях полушария Земли, освещенного Солнцем, и, в среднем, появляется раньше в нижних широтах, чем в высоких. Работа выполнена в рамках Государственного задания № 01200953488, при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 20-02-00150.

## 2.23 Очаговые параметры землетрясений Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань)

*Сычева Н.А.*

*Научная станция РАН в г. Бишкеке*

На основе сейсмических волн рассчитываются различные очаговые параметры землетрясений, которые принято разделять на кинематические и динамические. Механизм возбуждения сейсмических волн очагом землетрясения связывается в современной сейсмологии с внезапной подвижкой горных пород по некоторой поверхности ослабленной прочности. Модель очага (фокальный механизм), представленная в трехмерном виде, характеризует ориентировку осей главных снимаемых напряжений и положение nodальных плоскостей смещения по разрыву в сейсмическом очаге и косвенно связана с тектоническими напряжениями. Фокальный механизм, таким образом, относится к кинематической характеристике очага. Динамические характеристики сейсмических волн позволяют определять такие очаговые параметры землетрясений как радиус очага, скалярный сейсмический момент, сброшенные касательные напряжения и другие, которые относят к динамическим параметрам. Кинематические и динамические параметры землетрясений характеризуют сейсмический процесс. В работе представлены характеристики фокальных механизмов (1674 события), произошедших на территории Северного Тянь-Шаня, а также динамические параметры 183 землетрясений Северного Тянь-Шаня: радиус очага, скалярный сейсмический момент, сброс напряжений. Полученные данные можно использовать для оценки сейсмического процесса и напряженно-деформированного состояния земной коры исследуемой территории.

## 2.24 Применение адаптивной пороговой вейвлет-обработки для восстановления формы импульсов геофизических сигналов

*Луковенкова О.О.*

*Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Регистрируемые геофизические сигналы часто содержат шумы и помехи, появление которых обусловлено рядом причин, например, неоднородностью среды распространения, влиянием погодных условий, человеческой деятельностью и др.

Так, сигналы геоакустической эмиссии содержат постоянно присутствующий фоновый шум, при этом его интенсивность меняется с течением времени. Этот шум существенно искажает форму геоакустических импульсов и тем самым осложняет анализ характеристик сигнала.

В представленном докладе приведены результаты оценки фонового шума геоакустических сигналов. На основе этих оценок для очистки сигнала от шума и восстановления формы одиночных импульсов предлагается метод адаптивной пороговой вейвлет-обработки. Значение порога рассчитывается с помощью эмпирического метода Байеса. Пороговая обработка производится по медианной схеме.

В заключении приведены результаты вычислительного эксперимента, подтверждающие эффективность использования выбранного метода для предобработки геофизических сигналов.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## **2.25 Флуктуации рассеянного на искусственных неоднородностях ионосферы электромагнитного излучения**

*Сивоконь В.П.*

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

С помощью формирования искусственных магнитоориентированных неоднородностей ионосферы предполагается решить ряд прикладных задач связанных с повышением эффективности радиотехнических систем. Например, в задаче передачи информации в межслоевом ионосферном волноводе они должны обеспечить его возбуждение и вывод электромагнитного сигнала из него. При этом предполагается, что на искусственных неоднородностях ионосферы будет происходить рассеяние передаваемого сигнала. Известно, что рассеяние на неоднородностях приводит к замираниям сигнала, величина которых зависит от параметров неоднородностей и используемой частоты сигнала. Используя наблюдения за проводимыми на нагревных стендах экспериментов предпринята попытка оценить величину замираний от способа формирования неоднородностей. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## **2.26 Проверка устойчивости решений в каскадных моделях с помощью символьных вычислений**

*Фещенко Л.К., Водинчар Г.М.*

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

В работе разработана методика построения каскадных моделей турбулентности. Составление системы уравнений на коэффициенты нелинейных взаимодействий в модели и ее точное решение реализуется с помощью систем компьютерной алгебры. Данная методика и реализующие ее программы в решают задачи быстрой и безошибочной генерации целых классов каскадных моделей. Данная технология может быть легко дополнена условиями, которые

обеспечивают существование стационарных решений со степенным распределением по масштабу, которые типичны для турбулентных систем. Также было проведено исследование на устойчивость полученных систем и построен анализ зависимости вводимых параметров на характер поведения решений систем.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

## **2.27 Программа «DrumCorg» для выделения мультиплетов землетрясений на основе кросс-корреляционного анализа**

*Завадевкин И.А., Шакирова А.А., Фирстов П.П.*

*Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»*

Для выделения в потоке землетрясений мультиплетов разработана прикладная программа DrumCorg на основе кросс-корреляционного детектирования. Программа реализована на языке Python версии 3 и предназначена для чтения сейсмоакустических данных ASCII и MiniSeed форматов. В статье приведен алгоритм работы программы, описывающий кросс-корреляционный детектор и последующую обработку полученных данных. Программа была применена к землетрясениям сейсмического режима «drumbeats» (барабанный бой), зарегистрированным при извержении вулкана Кизимен в 2010–2013 гг., которые генерировались движением фронта вязкого лавового потока. В результате анализа более 280 000 землетрясений программой DrumCorg было выделено 17 мультиплетов, характеризующихся особыми волновыми формами. Результаты анализа на качественном уровне совпадают с результатами обработки данных «ручным методом».

## **2.28 Проявление падений космических тел в атмосфере в геомагнитных вариациях**

*Рябова С.А.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского  
Российской академии наук*

В последнее время проблеме астероидно-кометной угрозы уделяется значительное внимание. Ввиду уникальности события и значимости последствий актуальной проблемой является детальное и всестороннее изучение эффектов падения на Землю каждого крупного космического тела. В настоящем докладе рассмотрены геомагнитные аномалии в период падения нескольких космических тел. В качестве исходных данных используются результаты регистрации трех компонент магнитного поля Земли на обсерваториях Международной сети Интермагнет и на Геофизической обсерватории «Михнево» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук.

## **2.29 Работа многочастотного параметрического гидролокатора бокового обзора в ледовом волноводе**

*Тарасов С.П.<sup>1</sup>, Чжу Цзяньцзюнь<sup>2</sup>, Пивнев П.П.<sup>1</sup>, Воронин В.А.<sup>1</sup>,  
Короченцев В.И.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Южный федеральный университет, Россия*

<sup>2</sup> *Институт Гидроакустики Харбинского инженерного  
университета, Китай*

<sup>3</sup> *Дальневосточный федеральный университет, Россия*

Практическое использование гидроакустических систем, работающих в традиционном режиме для решения задач акустических систем связи, поиска полезных ископаемых, решения инженерных задач и задач мониторинга экологического состояния Мирового океана, имеет некоторые существенные ограничения. Эти ограничения во многом связаны с состоянием морских акваторий, в которых проводятся подобные работы. Решение подобных задач возможно с

использованием параметрических излучающих антенн в гидроакустических системах.

Одним из инструментов исследования рельефа дна и донных осадков является гидролокатор бокового обзора, позволяющий значительно повысить производительность съемочных работ за счет широкой полосы обследуемого пространства. Для проведения исследований с параметрическим гидролокатором бокового обзора была разработана параметрическая излучающая антенна с широкой характеристикой направленности в вертикальной плоскости и узкой в горизонтальной.

Для повышения эффективности преобразования энергии волн накачки в энергию волны разностной частоты в работе предлагается использовать взаимодействие волн в многокомпонентном сигнале накачки. Широкая характеристика направленности параметрического гидролокатора бокового обзора в вертикальной плоскости при его работе в волноводе может засветить некую область поверхности из-за боковых лепестков парциальных антенн накачки. При этом возникает отражение как волн накачки от поверхности, так и волн разностной частоты. Рассмотрено влияние совместного отражения этих волн на поле отраженной волны разностной частоты.

## **2.30 Расчет амплитуд экстремальных событий на территории России по данным наземных наблюдений во время 24-го солнечного цикла**

*Кудин Д.В., Красноперов Р.И.*

*Геофизический центр РАН*

В работе исследовано статистическое распределение геомагнитных возмущений по данным наземных наблюдений на территории России и сопредельных государств. Определены экстремальных значения амплитуд вариаций горизонтальной компоненты магнитного поля Земли (МПЗ). Для анализа был выбран интервал, соответствующий 24 циклу солнечной активности, который, согласно наблюдениям Обсерватории солнечной динамики, начался в декабре 2008 года. В соответствии с этим, анализировались данные

обсерваторий, проводивших непрерывную регистрацию МПЗ в период всего 11-летнего цикла солнечной активности в 2009–2019 гг. Среди данных, содержащихся в объединенной базе ГЦ РАН, описанным критериям отвечали 12 обсерваторий (8 российских).

### **2.31 Регистрация синхронных геомагнитных пульсаций и протонных сияний в период суббури 1 марта 2017 г.**

*Варламов И.И.<sup>1,2</sup>, Парников С.Г.<sup>2</sup>, Иевенко И.Б.<sup>2</sup>, Башшев Д.Г.<sup>2</sup>, Шиокава К.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *ФГАОУ ВО Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова*

<sup>2</sup> *ФИЦ Якутский научный центр СО РАН, Институт космofизических исследований и аэрoнoмии им.Ю.Г. Шафeра СО РАН*

<sup>3</sup> *Институт исследований космического пространства, Нагойский Университет*

Выполнен анализ данных регистрации синхронных геомагнитных пульсаций и протонных сияний в период суббури 1 марта 2017 г. на станции Жиганск ( $L=4.5$ , индукционный магнитометр), Маймага ( $L=4$ , камера всего неба) и Якутск ( $L=3.3$ , индукционный магнитометр), одновременно со спутниковым измерением ЭМИЦ волн.

Наземная регистрация протонных сияний весьма затруднительна ввиду того, что их интенсивность гораздо ниже интенсивности сияний, вызванных вторжениями электронов, но в событии суббуревой активности в зените станции Маймага наблюдалась узкая ( $1^\circ$  широты) протонная дуга. Синхронно на станциях Жиганск и Якутск регистрировались колебания убывающего периода в диапазоне геомагнитных пульсаций Pc1, связанные с инжекцией энергичных протонов. Показано, что протонная дуга и геомагнитные пульсации являются следствием ионно-циклотронной неустойчивости в области перекрытия внешней плазмoсферы энергичными протонами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 21-55-50013 ЯФ\_а.

## 2.32 Режимы генерации магнитного поля в маломодовой модели $\alpha\Omega$ -динамо с изменяющейся интенсивностью $\alpha$ -генератора, регулируемой функцией со знакопеременным ядром

*Шереметьева О.В.<sup>1</sup>, Годомская А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космических исследований и распространения  
радиоволн ДВО РАН*

<sup>2</sup> *Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного  
образования «Центр “Луч”», Камчатский край, г. Елизово,  
Россия*

В рамках модели  $\alpha\Omega$ -динамо рассматривается магнито-гидродинамическая система (далее МГД-система) с введённой аддитивной поправкой интенсивности  $\alpha$ -эффекта. Изменение интенсивности  $\alpha$ -эффекта со временем определяется функцией  $Z(t)$ , знакопеременное ядро  $J(t)$  которой характеризуется коэффициентом затухания  $b$  и собственной частотой  $a$ . Исследование поведения магнитного поля проводится на больших временных масштабах, поэтому для численных расчётов используется перемасштабированная и обезразмеренная МГД-система, где в качестве единицы времени принято время диссипации магнитного поля ( $10^4$  лет). Управляющими параметрами системы выступают число Рейнольдса и амплитуда  $\alpha$ -эффекта, в которых заложена информация о крупномасштабном и турбулентном генераторах соответственно. Численное моделирование режимов генерации магнитного поля проведено для значений коэффициента затухания  $b = 1$  и собственной частоты  $a = 0.1, 0.5, 1, 5, 10$ . Результаты моделирования отражены на фазовых плоскостях управляющих параметров. Исследуется вопрос о динамике изменения картины на фазовой плоскости в зависимости от собственной частоты  $a$  и в сравнении с результатами, полученными для показательного ядра  $J(t)$  с коэффициентом затухания  $b = 1$ . Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

### 2.33 Сезонные вариации естественных потенциалов в криолитозоне 2016–2021, Якутск

*Козлов В. И., Баишев Д.Г., Павлов Е.А.*

*Институт космических исследований и аэронавтики  
им. Ю.Г. Шафера СО РАН, ЯНЦ СО РАН*

Две пары 100 м измерительных линий захватывают неоднородность, заболоченный участок (марь). Местоположение датчиков второй пары сдвинуто на 1 м. Третья пара расположена полностью на сухом участке. Вариации потенциалов на линии на сухом участке коррелируют с вариациями на участке, содержащем марь (2016–2021), но по величине меньше примерно в 10 раз. Весной с 04–17.04 по 11–27.04 на парах линий с марью наблюдается резкое изменение потенциалов на 55–90 мВ, далее изменение в обратную до 20.05 на 170 мВ. До середины июля наблюдается плато и затем резкое изменение в сторону отрицательных потенциалов на 50 мВ. Далее до конца октября наблюдается осеннее плато. В середине ноября происходит резкий подъем до зимних значений. Зимой наблюдается плато. Сравним вариации естественных потенциалов между датчиками в центре и на краю мари и на полностью сухом участке, удаленную от первой на 140 м. Сезонный размах потенциалов на линии на море составляет 350 мВ. Резкий скачок с величины стабильных зимних значений 01.04–11.04 до 150 мВ/70м связан с таянием снега. Далее еще более резкий скачок в обратную сторону до -200 мВ/70м до 22.05. Далее наблюдается экспоненциальное летнее изменение до -10 мВ/70м до 01.11. В ноябре идет постепенная перестройка к стабильному зимнему уровню 22 мВ/70м. На сухом участке наблюдается качественно похожая картина. Только размах составляет 63 мВ/140м и стабильный зимний уровень составляет от -0,9 до 2 мВ/140м. По зимним наблюдениям наблюдается длительная вариация с периодом около 4-х лет. Наблюдаются резкие выбросы величин естественных потенциалов во время дождливых дней. Работа выполнена при финансовой поддержке Мин. образования и науки РФ, бюджетная тема, АААА-А21-121012000007-4.

## 2.34 Сейсмический процесс Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань)

*Сычева Н.А., Сычев В.Н.*

*Научная станция РАН в г. Бишкеке*

Рассмотрены различные характеристики сейсмичности Бишкекского геодинамического полигона (БГП). Под БГП понимается территория, которая лежит в пределах центрального сегмента Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенерирующей зоны и представляет собой зону сочленения Тянь-Шаньского орогена и Туранской плиты. Основными тектоническими структурами исследуемого района на неотектоническом этапе являются Киргизская мегантиклиналь (Киргизский хребет) и находящаяся севернее Чуйская впадина. Южнее Киргизского хребта располагаются Суусамырская, Кочкорская и Джумгалская впадины, разделенные небольшими хребтами. Западнее находятся хребты Таласский, Большой и Малый Каратау, а восточнее — хребты Кунгей-Алатау и Терскей-Алатау с разделяющей их Иссык-Кульской межгорной впадиной. Станции сейсмологической сети КНЕТ расположены на территории БГП, что дает возможность максимально регистрировать происходящие на этой территории сейсмические события. К настоящему моменту каталог землетрясений содержит параметры более 10500 событий, которые произошли с 1994 по 2020 годы. В работе представлены различные статистические характеристики каталога землетрясений: уровень ошибок, количество зарегистрированных фаз (Р- и S-волны), распределения по магнитуде, времени, глубине. Для описания функции распределения землетрясений по энергиям использовался закон Гутенберга–Рихтера. Определена представительная выборка, как для каталога, так и для отдельных сегментов рассматриваемой территории. Построены распределения  $b$ -value в пространстве и во времени. Представлено пространственное распределение количества землетрясений и интенсивности сейсмотектонической деформации на исследуемой территории.

## 2.35 Синхронность подземно-электрических вариаций, наблюдавшихся на станциях в городах Горно-Алтайске и Кьетти (Италия)

*Бобровский В.С.<sup>1</sup>, Шитов А.В.<sup>2</sup>, Стоппа Ф.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Косметеокор, Италия*

<sup>2</sup> *Горно-Алтайский государственный университет, Россия*

<sup>3</sup> *Университет Данунцио, Кьетти, Италия*

В рамках представлений об электросетевой природе тектонической активности предполагается, что в электросетях недр Земли происходят нестационарные процессы, которые могут проявляться с той или иной интенсивностью в любом участке земной коры, где к поверхности подходят потоки протонов из земного ядра. Нестационарные электрические процессы в недрах исследовали с помощью измерительных линий, на чьих концах находились свинцовые электроды, закопанные в шурфы на глубину первых метров.

Три шурфа станции №5 (С5) Инновационного молодежного фонда (ИМФ) «Подземные электрические технологии» (ПЭТ), чьи координаты 51°57'38.77"N и 85°58'17.54"E, расположены в городе Горно-Алтайск (республика Алтай, Россия), в ~ 150 метрах от ручья, текущего по долине реки Маймы и на расстоянии ~ 8 км до места слияния ручья и р. Майма.

Три шурфа станции №6 (С6-ИМФПЭТ), чьи координаты 42°22'5.59"N и 14°50.66"E, расположены в городе Кьетти (провинция Абрुццо, Италия), на склоне холма в ~ 1.5 км от реки, текущей от Кьетти 13 км до места впадения в Адриатическое море.

Автоматические измерения проводятся с помощью многоканального измерительного преобразователя напряжения LСARD-E-14-140M. Модуль LСARD-E-14-140M спроектирован, разработан и изготовлен компанией ООО «Лкард» [<http://lcard.ru>]. Преобразователь напряжения предназначен для ежесекундного измерения постоянного и переменного тока (0...7 кГц) подземной ЭДС, наблюдаемых в виде нестационарных процессов, происходящих на границе литосферы-атмосферы.

Анализ данных, показал, что в период 2013/01/23-29 наблюдалась синхронность подземно-электрических (ПЭ) вариаций на С5-ИМФПЭТ-АЛТАЙ и С6-ИМФПЭТ-ИТАЛИЯ. Результаты осмотра сведены в таблицу.

Анализ совокупности гелио-геофизических данных обнаружил геомагнитное возмущение 4 балла, которое началось практически синхронно с ПЭ-вариацией. Этот факт в очередной раз подтвердил глобальный характер ПЭ-вариаций.

### **3 Физика предвестников землетрясений**

### 3.1 Аппаратура и методика регистрации подпочвенных газов на Камчатке и Сахалине с целью прогноза землетрясений

Макаров Е.О.<sup>1</sup>, Фирстов П.П.<sup>1</sup>, Костылев Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Камчатский филиал Федерального исследовательского центра  
Единая геофизическая служба РАН

<sup>2</sup> Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра  
Единая геофизическая служба РАН

На полуострове Камчатка, начиная с 2000 г. функционирует сеть пунктов мониторинга подпочвенного радона (ПР) с целью поиска предвестников сильных землетрясений. Длительный анализ динамики ПР в сопоставлении с сейсмичностью региона позволяет утверждать о наличии определенной связи между вариациями радона и сильными землетрясениями. За время работы сети приборная база непрерывно модернизировалась. В основу работы радиометров РЕВАР, с использованием которых была на первом этапе организована сеть пунктов, был положен принцип пассивной регистрации продуктов распада  $Rn$  по бета-излучению с помощью расположенных в накопительных камерах на глубинах от 1 до 3 м датчиков.

Возрастающие требования к надежности работы сети, оперативности обработки данных, расширение сети пунктов и увеличение количества регистрируемых параметров (атмосферные температура и давление, двуокись углерода, молекулярный водород) потребовали замены морально устаревающих радиометров РЕВАР. С этой целью был разработан и введен в эксплуатацию аппаратный комплекс для регистрации концентрации подпочвенных газов, основу которого составляет современный даталоггер ALMEMO немецкого производства. Этот даталоггер обладает системой интеллектуальных коннекторов, позволяющих выполнять регистрацию большого числа параметров, а так же отличается высокой надежностью при работе в неблагоприятных условиях.

Появившийся в продаже цифровой радиометр RADEX MR107 отечественного производства, позволяет организовать потенциально более эффективную регистрацию ПР методом принудительно конвекции. При этом радиометр помещается в герметичный контейнер с избыточным объемом, который выполняет роль накопи-

тельной камеры, а подпочвенный воздух из закрытого шпура глубиной 0.5–2.5 м непрерывно откачивается компрессором и поступает в эту камеру. За счет установления равновесия радона с продуктами распада в накопительной камере увеличивается чувствительность прибора. Это особенно важно для Камчатки, где наблюдается низкое содержание в породах Ra, продуктом распада которого является  $^{222}\text{Rn}$ . Так же за счет непрерывного отбора подпочвенного воздуха из большого объема грунта уменьшается влияние на результаты измерений метеорологических величин (температуры воздуха, атмосферного давления, влажности почвы). Совместная работа в одной накопительной камере датчика бета-излучения с радиометром РЕВАР и радиометра MR107 демонстрирует качественно схожие вариации радона, что позволяет выполнить метрологический анализ. Аппаратура на части пунктов на Камчатке была заменена комплексами для регистрации подпочвенного радона методом принудительной конвекции. Эти же комплексы легли в основу созданной и работающей в тестовом режиме сети пунктов регистрации подпочвенного радона на о. Сахалин.

С целью обеспечения получения метрологически достоверных данных о содержании радона в воздухе подпочв в одном из пунктов Камчатской сети в скважине глубиной 3 м установлен эталонный скважинный радиометр ВМС-2 (ALGADE Barisol, Франция), выполняющий регистрацию объемной активности радона в воздухе по альфа-излучению. Кроме этого в скважину помещен датчик бета-излучения. В настоящее время ведется накопление данных для последующего анализа.

Разработка эманационного метода прогноза землетрясений требует современной цифровой аппаратуры, позволяющей получать временные ряды различных параметров во времени, близком к реальному. Аппаратурная база Камчатской сети пунктов регистрации подпочвенных газов постоянно совершенствуется и развивается, что бы предоставлять для исследований детализированные непрерывные качественные ряды данных и соответствовать мировым стандартам.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке (Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской

Федерации, сопредельных территорий и мира) (<https://skprf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>), а так же при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00493.

### **3.2 Вариации фонового сейсмического шума в районе полуострова Камчатка в 2011–2021 гг.: связь с сильными землетрясениями**

*Копылова Г.Н., Касимова В.А.*

*Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба Российской Академии наук*

С 2011 г. проводится мониторинг статистических параметров фонового сейсмического шума (ФСШ) с использованием непрерывных записей на сети из 21 широкополосных сейсмостанции ФИЦ ЕГС РАН с построением карт их пространственно-временного распределения и графиков медианных значений по сети станций. Выявленные особенности поведения параметров ФСШ на стадиях подготовки местных землетрясений с  $M_w = 6.8-8.3$  и аналогичные изменения параметров ФСШ перед сильными землетрясениями в других регионах составили основу прогнозного алгоритма оценки мест следующих землетрясений в районе полуострова Камчатка и сопредельных территорий.

С использованием данных ФСШ, в 2011–2016 гг. была выделена область повышенной опасности сильных землетрясений в диапазоне широт  $53-58^\circ$  с.ш., в которой в 2013–2018 гг. произошли 5 из 6-ти землетрясений с  $M_w \geq 6.6$ , в т. ч. Охотоморское с  $M_w=8.3$  и Ближне-Алеутское с  $M_w=7.7$ . С середины 2019 г. обнаружено смещение области опасности сильных землетрясений в южную часть района (диапазон широт  $50-54^\circ$  с.ш.). Здесь в марте 2020 г. произошло Северо-Курильское землетрясение с  $M_w=7.5$ .

В докладе рассматриваются физические предпосылки прогнозного алгоритма на основе данных ФСШ, состояние и перспективы дальнейших исследований.

### 3.3 Гидрогеофлюидные предвестники: связь с параметрами землетрясений и концептуальные модели

*Копылова Г.Н., Болдина С.В.*

*Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба Российской Академии наук*

Гидрогеофлюидные предвестники (давление, температура, химический состав воды, свободного и растворенного газа) представляют аномальные изменения параметров подземных вод на стадиях подготовки землетрясений. Систематизация достоверных данных о таких предвестниках и их связи с параметрами последующих землетрясений позволяет оценить их значимость в вопросах сейсмического прогнозирования, изучения процессов подготовки сильных землетрясений и особенностей изменчивости во времени свойств флюидонасыщенной среды сейсмоактивных регионов. С использованием авторских и опубликованных данных о гидрогеофлюидных предвестниках по результатам многолетних наблюдений в скважинах сейсмоактивных районов полуострова Камчатка и мира, показано, что такие предвестники проявляются в течение первых месяцев в ближней и средней (промежуточной) зонах очагов землетрясений. Это указывает на развитие в области очага сильного землетрясения предшествующего преимущественно асейсмического процесса медленного изменения напряженно-деформированного состояния среды, в частности, прерывистого скольжения по разлому (Lin and Rice, 2005; Ребецкий, 2004, 2005, 2021 и др.). В результате развития такого процесса в очаговой зоне, в непосредственной близости от наблюдательных скважин могут возникать эффекты квазиупругого и неупругого (дилатансионного) изменения давления подземной воды, а также нарушение стационарного водообмена между водами с контрастным химическим составом воды и газа. В докладе приводятся примеры построения концептуальных моделей зарегистрированных гидрогеофлюидных предвестников для отдельных наблюдательных скважин.

### 3.4 Закономерная связь крупных землетрясений с космическими событиями

*Зенкин О.В.*

*ФГБОУ Сахалинский государственный университет*

Если обратиться к информационным источникам, например USGS (геологическая служба США), то можно определить, что крупные землетрясения с магнитудой более 6.4M происходят, в среднем, 10–15 раз в год. Часть из них приурочена к космическим событиям лунно-солнечных затмений. Кроме небесной механики лунно-солнечных затмений существуют и другие внешние механизмы возникновения землетрясений на Земле, связанные с космическими факторами. И в качестве таковых мы рассматриваем воздействие планет солнечной системы. Один из таких механизмов для прогноза крупных землетрясений определяется годовым вращением Земли относительно Солнца, и происходит, таким образом, с периодом в 365 дней. Земля при таком механизме может попадать в векторное физическое поле, которое Солнце образует с планетами в космическом пространстве. Поскольку, например, с удаленными планетами-гигантами за период в 1 год направление этого поля практически не меняется, то в статистике крупных землетрясений, предположительно, можно найти события, происходящие день-в-день два и более года подряд. И действительно, это имело место, например, в 2004–2006 гг. (2004/11/15/9 2005/11/14/21 2006/11/15/11) с разницей в 1 год и 12 часов и 1 год 14 часов, когда Земля проходила сквозь векторное поле планет Плутон – Юпитер – Солнце – Земля – Нептун. Можно утверждать, что крупные землетрясения имеют причиной внешние по отношению к Земле факторы небесной механики. Если утверждение кажется недостаточно убедительным, то можно привести научное обоснование. Основываясь на математической статистике, мы произвели расчет вероятности возникновения день-в-день трех крупных землетрясений в течение двух лет, которая оказалась менее 0.2 %. То есть событие невероятное. Но поскольку это все же произошло, то с достоверностью 99.8% можно считать, что причинами возникновения крупных землетрясений является не нагромождение случайностей, а закономерность, а именно, такая, которая основывается на небесной механике.

### 3.5 Идентификация ионосферных предвестников землетрясений в Камчатском регионе на основе корреляционного анализа

*Богданов В.В., Павлов А.В.*

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Сейсмическая активность является одним из источников изменчивости ионосферы. В данной работе на основе методики [Pulinets et al, 2004] исследовано изменение концентрации электронов в ионосфере, предшествующее наступлению сильных землетрясений с  $M \geq 6.0$  в Камчатском регионе. Данная методика основана на вычислении коэффициента корреляции между значениями критической частоты foF2 двух ионосферных станций, одна из которых расположена внутри зоны подготовки землетрясения, а другая – за ее пределами. Если пункты наблюдений расположены в сходных географических условиях, то в них будут также наблюдаться одинаковые ионосферные вариации как в спокойных, так и в возмущенных геомагнитных условиях, кроме тех пунктов, которые расположены в сейсмоактивной зоне. Локальные аномалии в слое F2, сопровождающие подготовку сильных землетрясений, должны проявляться в уменьшении взаимной корреляции критических частот foF2 между станциями, расположенными внутри и вне сейсмической зоны. Рассмотрены данные, полученные на двух станциях PETROPAVLOVSK (PK553) и EARECKSON (EA653) за период 01.09.2018–30.04.2021 гг. Станция PK553 с координатами (52.97° с.ш., 158.24° в.д.) располагалась на Камчатке в зоне подготовки сейсмических событий, а в качестве контрольной станции рассматривалась станция EA653 (52.73° с.ш., 185.92° в.д.). Статистический анализ критических частот foF2 показал, что для 7 из 14 землетрясений с  $M \geq 6.0$ , произошедших на глубинах до 100 км и эпицентральных расстояниях до 500 км от расположения PK553, за 1–7 суток до их наступления предшествовало заметное уменьшение коэффициента корреляции.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

### 3.6 Математический арсенал модели саморазвивающихся процессов для анализа форшоковых последовательностей и вероятности сильного землетрясения

*Богомолов Л.М.<sup>1</sup>, Богинская Н.В.<sup>1</sup>, Сычев В.Н.<sup>2,2</sup>*

<sup>1</sup> *ИМГиГ ДВО РАН*

<sup>2</sup> *ИС РАН*

Модель саморазвивающихся процессов, СРП, (адаптация описания режимов с обострением для сейсмических последовательностей) с успехом применялась для среднесрочных прогнозов сильных землетрясений в Дальневосточном регионе России. Авторы алгоритма прогноза на основе этой модели А.И. Малышев и И.Н. Тихонов продемонстрировали возможность прогноза землетрясений на Сахалине в реальном времени (не ретроспективно). В настоящее время число успешных прогнозов сейсмических событий на Сахалине с магнитудами выше 5 составляет уже 8. Созданный «Сахалинский прецедент» остро ставит вопрос о физическом обосновании этой модели, помимо ссылки на концепцию самоорганизации — реализацию режима с обострением с «взрывным» нарастанием сейсмической активности перед главным толчком. Также актуально дальнейшее совершенствование модели СРП и развитие новых подходов к выявлению предвестников. В докладе показано, что математический аппарат модели СРП аналогичен известному в гидродинамике описанию взрывной неустойчивости волн в метастабильной среде. Предложено обобщение модели СРП Малышева-Тихонова, позволяющее избежать сингулярности в предсказываемом ею взрывном росте активности. Введение в модель СРП отрицательной обратной связи по накоплению событий позволяет учесть «самосохранение» геологической среды за счет выхода из режима с обострением. Полученные решения описывают, что быстрый, «взрывной» рост активности замедляется и стабилизируется непосредственно перед главным событием. Это согласуется с форшоковыми последовательностями перед известными землетрясениями в Дальневосточном регионе России (Симуширские ЗЛТ, 2006-2007, Невельское ЗЛТ, 2007). Обобщение модели позволило предложить новые способы оценки вероятности сильного землетрясения краткосрочный период.

### 3.7 Методика распознавания ионосферных предвестников землетрясений на фоне геомагнитной возмущенности

*Пулинец С.А.<sup>1</sup>, Будников П.А.<sup>2</sup>, Пулинец М.С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Институт космических исследований (ИКИ) РАН*

<sup>2</sup> *Институт прикладной геофизики имени академика  
Е.К. Фёдорова*

<sup>3</sup> *Научно-исследовательский институт ядерной физики имени  
Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет*

Уже в 70-х годах прошлого столетия, когда появились первые публикации об ионосферных предвестниках землетрясений, развернулись ожесточенные дискуссии об их существовании и их физической природе. Основным аргументом против был факт высокой изменчивости ионосферы, в особенности вследствие геомагнитных бурь, при которой мы могли бы наблюдать картину, схожую с предвестниками землетрясений. Несмотря на достигнутый прогресс как в понимании физики явления, так и методиках распознавания паттернов изменчивости ионосферы, оставался ряд вопросов, связанных с различиями между непосредственно ионосферными предвестниками и процессами, вызываемыми другими причинами.

Чтобы поставить точку в данной дискуссии, мы решили провести исследование вариаций полного электронного содержания в периоды сильной геомагнитной возмущенности и в периоды подготовки землетрясений. При этом мы исходим из положения, что различие физических процессов, ответственных за генерацию ионосферных вариаций в процессе подготовки землетрясения и вследствие развития геомагнитных бурь должно проявляться в паттернах ионосферной изменчивости как в пространственном распределении, так и в развитии аномалии в локальном времени, что особенно характерно для ионосферных предвестников. Такой характерный паттерн значительного увеличения электронного содержания в ночное время по мере приближения момента землетрясения был назван «маской предвестника». Данное явление было исследовано для различных сейсмоактивных областей. Оказалось, что эти паттерны подобны для широкого спектра условий, что позволило обосновать возможность автоматической когнитивной идентификации ионосферных предвестников землетрясений. На следующем

шаге мы провели анализ поведения ионосферы во время геомагнитных возмущений различной интенсивности. Здесь картина оказалась сложнее в связи с различной реакцией ионосферы на разных широтах, а также различия в реакции ионосферы как функции начала геомагнитной бури от местного времени. Тем не менее, были установлены определенные закономерности, показывающие существенное различие ионосферных предвестников и изменчивости ионосферы в время геомагнитных бурь.

Будут продемонстрированы «маски» ионосферных предвестников и геомагнитных бурь, а также вариаций в ионосфере, когда буря происходила во время периода финальной стадии подготовки землетрясения.

### **3.8 Могут ли вариации активности радона в сейсмоактивном регионе воздействовать на ионосферу?**

*Сурков В.В.<sup>1,2</sup>, Пилипенко В.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт физики Земли РАН*

<sup>2</sup> *ИЗМИРАН*

В ряде сейсмоактивных районов наблюдалось аномальное увеличение активности радона в приземном атмосферном слое до и после некоторых сильных землетрясений. Принято считать, что эти локальные аномалии приводят к увеличению ионизации воздуха, из-за радиоактивного распада радона, и, как следствие, к росту электропроводности нижних слоёв атмосферы. В данной работе проводится теоретический анализ известной гипотезы о том, что аномалии активности радона вызывают вариации вертикального фонового тока в атмосфере, которые, в свою очередь, приводят к заметным изменениям концентрации и полного электронного содержания (ТЕС) электронов в ионосфере. Для этого вначале решалась модельная стационарная задача о вертикальном осесимметричном токе, втекающем (или вытекающем) из атмосферы в E-слой ионосферы. Локальные вариации этого тока, связанные с эмиссией радона из почвы, приводят к вариациям тока, растекающегося по ионосфере. Решение данной задачи позволило оценить изменение электронной составляющей плотности тока в ионосфере. Изменение концентрации электронов в ионосфере определяется кинетическим уравнением, описывающим баланс между притоком новых

свободных электронов и их убыли вследствие рекомбинации с положительными ионами и прилипания к нейтральным молекулам. Полученные в работе оценки в предположении, что активность радона в приземном атмосферном слое повысилась в 2–3 раза, показывают, что максимальное относительное изменение концентрации электронов в Е-слое атмосферы составит порядка  $10^{-5}$ . Для F-слоя, параметры которого варьируются в более широких пределах, эта оценка меняется в диапазоне  $10^{-9} - 10^{-4}$ . Такие изменения параметров ионосферы практически не наблюдаемы. Этот результат позволяет сделать вывод о неправдоподобности данной гипотезы. Наблюдаемые аномалии GPS/ТЕС мониторинга, предположительно связанные с ионосферным откликом на сейсмические события, по-видимому, имеют другую природу.

### **3.9 Моделирование зон геоакустического излучения перед сильными землетрясениями на Камчатке, произошедшими в период с 2019 по 2021 г.**

*Ганиев М.И.*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

Произведен расчет зон геоакустического излучения по уровням относительных деформаций, который основан на статической модели деформационного поля в рамках теории упругости. В соответствии с этой моделью земная кора рассматривается как однородное изотропное упругое полупространство, в котором присутствуют различные источники напряжения.

При построении модели рассмотрены варианты очагов землетрясения в виде сосредоточенного источника с различной комбинацией двойных сил и протяженного источника: дислокация — прямоугольник с постоянным вектором подвижки.

В ходе моделирования рассматривались мелкофокусные землетрясения на Камчатке в период с 2019 по 2021 г. с моментной магнитудой  $M_w$  выше 5.0, механика очага которых ассоциирована с разрывом сплошности среды.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

### 3.10 Некоторые аспекты проявления глобальных геомагнитных сигналов как предвестников сильных землетрясений

*Пархомов В.А.<sup>1</sup>, Хомутов С.Ю.<sup>2</sup>, Цэгмэд Б.<sup>3</sup>, Ведерникова Т.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия*

<sup>2</sup> *Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

<sup>3</sup> *Институт астрономии и геофизики АН Монголии, Улан-Батор, Монголия*

Исследованы вариации магнитного поля Земли перед сильными землетрясениями. Сделано сопоставление их глобального и локального проявления. Показано, что во многих случаях источники сигналов, предполагаемые как имеющие литосферное происхождение, находятся в магнитосфере и непосредственно регистрируются спутниками на высоких орбитах. Таким образом, подобные геомагнитные вариации генерируются при взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой и не могут рассматриваться как предвестники землетрясений, имеющие физическую связь с процессами в очаге формирующегося сейсмического события. Предварительный анализ показывает, что для достоверного выделения предвестника землетрясения необходимо учитывать комплексную геофизическую информацию, включая данные о состоянии околоземного пространства. Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

### 3.11 О динамике электромагнитных параметров литосферы Северного Тянь-Шаня

*Баталева Е.А.*

*Научная станция РАН в г. Бишкеке*

Обобщены и систематизированы данные о параметрах электромагнитного поля земной коры Северного Тянь-Шаня. Использован экспериментальный материал Бишкекского геодинамического полигона — результаты магнитотеллурического мониторинга и каталог сети KNET (Kyrgyzstan Telemetered Network), а также каталоги сетей KRNET (Kyrgyz Republic Digital Network) и ISC (International

Seismological Centre). На основе анализа этих данных изучена зависимость отклика сейсмических событий в электромагнитных параметрах от расстояния эпицентров землетрясений. Наиболее вероятной причиной возникновения аномальных изменений в электромагнитном поле является активизация деформационных процессов при подготовке сильных землетрясений. Целью настоящей работы является анализ вариаций магнитного типпера и сейсмических событий, зарегистрированных различными сейсмическими сетями. Принимая во внимание, что вещественные индукционные стрелки (ReW) связаны с активными электрическими токами, а мнимые (ImW) — с реактивными, нами были построены и рассмотрены частотно-временные ряды обоих параметров (ReW и ImW). Представлены результаты частотно-временного анализа и рассмотрены особенности проявления в зависимости от местонахождения гипо- и эпицентров сейсмических событий и их магнитуды. Установлены закономерности в поведении вариаций типпера на удаленные и региональные землетрясения за период 2010–2020 гг. с энергетическим классом от 8 до 12.

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Научной станции РАН по теме АААА-А19-119020190063-2.

### **3.12 Оценка вероятности наступления землетрясения в Камчатском регионе по сейсмологическому и комплексу ионосферных предвестников**

*Богданов В.В., Павлов А.В.*

*Институт космифизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*

В данной работе на основе объединения среднесрочного и краткосрочного прогностических признаков, сопутствующих формированию землетрясений, представлена методика оценки области, временного периода и вероятности наступления сильных землетрясений с  $K_S \geq 13.5$  ( $M \geq 6.0$ ) в Камчатском регионе. В качестве среднесрочного предвестника рассмотрен сейсмологический прогностический параметр  $\xi_P$ , полученный на основе вероятностной модели сейсмического режима и определяющий статистически значимые

отклонения текущих вероятностей  $P_k(S_i)$  попадания сейсмических событий с энергетическим классом  $K_S \geq 9.0$  в области  $S_i$  от долговременных (фоновых) значений вероятностей  $P_T(S_i)$ . Область ожидания землетрясения с  $K_S \geq 13.5$  определялась как группа областей  $S_i$ , в которых по параметру  $\xi_P$  были идентифицированы аномалии сейсмического режима. В качестве краткосрочных прогностических признаков с периодом ожидания землетрясения до 5 суток рассмотрен комплекс ионосферных параметров: К-слой, спорадический слой Es типа  $r$ , критическая частота foF2 и расслоение слоя F2 по частоте. На основе Байесовского подхода произведены прогностические оценки вероятностей наступления сильных землетрясений с  $K_S \geq 13.5$  ( $M \geq 6.0$ ), произошедших за период 2019–2021 гг. в Камчатском регионе, в областях ожидания, определенных по параметру  $\xi_P$ , при условии, что идентифицирован комплекс аномальных параметров ионосферы.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания АААА-А21-121011290003-0.

### 3.13 Поляризационный анализ в исследованиях радиальной анизотропии

*Лыскова Е.Л.<sup>1</sup>, Санников К.Ю.<sup>1</sup>, Аржаненкова А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup> Национальный исследовательский университет ИТМО

Задачи, связанные с изучением радиальной анизотропии верхней мантии Земли, не перестают быть актуальными.

Относительно причин радиальной анизотропии высказываются разные мнения: она может возникать вследствие конвективных потоков вещества в верхней мантии или деформации вещества в результате тектонических процессов за сотни миллионов лет. Первая причина, по-видимому, описывает анизотропию океанической верхней мантии, где всегда наблюдается превышение  $V_{SH}$  над  $V_{SV}$ , тогда как вторая — континентальную мантию, где возможны разные соотношения между  $V_{SH}$  и  $V_{SV}$ .

Для континентальных областей знак между скоростями  $V_{SH}$  и  $V_{SV}$  по данным разных авторов сильно отличается, в первую очередь, вероятно, из-за более сложного строения континентальных областей по сравнению с океаническими.

Наши предыдущие исследования, посвященные анализу распределения коэффициента анизотропии в Карпатско-Паннонской системе, позволили выявить преобладание аномалии низких скоростей под Паннонским бассейном и Трансильванией, разделение вдоль зоны Торнквиста-Тессейра структуры древней Восточно-Европейской платформы от молодых орогенных зон Западной Европы.

Для получения наиболее точного распределения коэффициента анизотропии важно уметь получать чистые латеральные скоростные распределения волн Лява и Релея. В большинстве случаев геометрический азимут, отвечающий трассе вдоль дуги большого круга, действительно, практически совпадает с истинным азимутом прихода волны на станцию. Однако для периодов до 30–40 с за счет сильной латеральной неоднородности коры и подкорковой мантии истинный азимут может довольно сильно отличаться от геометрического. В этом случае трансверсальная компонента смещения, полученная исходя из геометрического азимута, может содержать кроме волны Лява еще и некоторый вклад от волны Релея. Это может приводить к существенным искажениям, особенно в области периодов около 20–40 с, где скорости волн Релея и Лява могут оказываться близкими. Поэтому дисперсионные кривые волн Лява, получаемые исходя из геометрического азимута прихода волны, могут содержать ошибки, связанные с наложением на запись волны Релея.

В настоящем исследовании предложен метод получения чистых дисперсионных кривых Лява и Релея, без примесей, на основе поляризационного анализа. Для отдельных периодов отклонения от геометрического азимута достигали более чем 20 градусов. Уточненные скоростные распределения позволили получить более детальные особенности в распределении коэффициента анизотропии в Карпатско-Паннонской системе.

### 3.14 Применение разнесенной системы лазерных интерферометров и наклономеров для обнаружения предвестников землетрясений

*Дубров М.Н.<sup>1</sup>, Волков В.А.<sup>2</sup>, Ларионов И.А.<sup>3</sup>, Мрлина Я.<sup>4</sup>,  
Полак В.<sup>4</sup>, Александров Д.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН, Россия*

<sup>2</sup> *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия*

<sup>3</sup> *Институт космических исследований и распространения  
радиоволн ДВО РАН*

<sup>4</sup> *Геофизический институт АН ЧР, Чехия*

Наши предыдущие исследования со всей очевидностью показывают, что синхронное наблюдение глобальных возмущений атмосферы и литосферы с помощью точных и пространственно распределенных инструментов является эффективным методом обнаружения предвестников крупных сейсмических событий и других опасных природных явлений. Это исследование расширяет пространственный диапазон нашего поиска до 7000–9000 км и позволяет разделить региональные и глобальные возмущения. Предметом представленных исследований являются: 1) анализ непривливаемых деформационно-барических и наклонно-барических процессов, регистрируемых системой наземных лазерных интерферометров в пределах Московской Синеклизы (Обнинск, Фрязино) и Камчатки совместно с синхронно работающими наклономерами, установленными глубоко под землей в Богемском массиве (Скална, Езери, Прибрам); 2) поиск корреляций между данными лазерных интерферометров и данными удаленных наклономеров перед сильными землетрясениями. Цель состоит в том, чтобы различить локальные, региональные и глобальные вариации и аномалии, предвещающие и сопровождающие сейсмические процессы. Нашим первым поддающимся оценке опытом в этом направлении была найденная статистически значимая величина глобальной связи деформационно-барических аномалий, обнаруженных с помощью удаленных инструментов Фрязино – Камчатка с использованием метода корреляции Пирсона. Другая попытка обнаружения деформационно-барической и наклонно-барической связи на региональном уровне

была предпринята путем сравнения данных лазерного деформографа в Обнинске с наклонами, зарегистрированными в обсерватории Езери. Это дало коэффициент корреляции Пирсона  $R = 0,92$ , что означает сильную найденную корреляцию. Такая обработка данных применена для временных интервалов, включающих сильные землетрясения 2015–2020 гг.

Работа проводилась в рамках реализации государственного задания 0030-2019-0014 и АААА-А21-121011290003-0.

### **3.15 Физические механизмы несейсмических явлений, сопутствующих землетрясениям.**

#### **Обзор**

*Сурков В.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт физики Земли РАН*

<sup>2</sup> *ИЗМИРАН*

В докладе приводится обзор теоретических моделей, построенных для объяснения некоторых несейсмических явлений, возникающих до, во время и после землетрясений. Анализируются теоретические модели следующих явлений, сопутствующих землетрясениям.

(1) Локальные изменения электропроводности земли, связанные с движением проводящей подземной жидкости и изменениями проводимости породы под действием тектонических деформаций.

(2) Аномальный низкочастотный электромагнитный шум, предположительно связанный с образованием трещин, геомагнитными возмущениями или электрокинетическим эффектом в пористых насыщенных водой породах.

(3) Ко-сейсмические электромагнитные явления, включающие сейсмoeлектрический эффект; возмущения геомагнитного поля сейсмическими волнами, распространяющимися в проводящих слоях земли; электромагнитный предвестник сейсмической волны; возмущение ионосферы акустико-гравитационными волнами.

(4) Эмиссия радона и заряженных аэрозолей из почвы и их возможное влияние на электропроводность атмосферы и полное электронное содержание в ионосфере.

(5) Аномалии инфракрасного излучения, наблюдаемые над сейсмически активными регионами, и теоретические модели этого

явления, включая локальный парниковый эффект, конвективный нагрев поверхности земли подземной жидкостью и нагрев атмосферы, вызванный радиоактивным распадом радона.

### 3.16 Энтропия Тсаллиса в анализе сейсмологических и экспериментальных данных

*Сычев В.Н., Сычева Н.А., Кульков Д.С.*

*Научная станция РАН в г. Бишкеке*

В основе анализа сейсмологических и экспериментальных данных по одноосному испытанию на прочность образцов геоматериалов лежит концепция энтропии, которая была введена в 1988 г. Константино Цаллисом в качестве основы для обобщения стандартной статистической механики для случая неэкстенсивных (неаддитивных) систем. Для описания функции распределения землетрясений по энергиям использовались 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. Указанный подход использовался для количественной оценки дальних пространственных корреляций, возникающих в потоке землетрясений, а также для оценки изменения дальних пространственных корреляций непосредственно перед главным событием и во время следования афтершоков. Показано, что поток землетрясений представляет собой систему с памятью и дальними пространственными корреляциями. Параметр Тсаллиса  $q$  для афтершоковых последовательностей превышает значение  $q$ , вычисленное для всего каталога землетрясений, что указывает на то, что дальние пространственные корреляции возрастают перед землетрясением и продолжают оставаться повышенными во время следования афтершоков. Этот же подход был применен и к анализу распределения сигналов акустической эмиссии по энергиям. Продемонстрировано полное самоподобие распределений по энергиям на различных масштабных уровнях.

### 3.17 Эредитарная математическая модель Риккати с запаздыванием для исследования динамики концентрации радона в накопительной камере

*Твердый Д.А.<sup>1,2</sup>, Паровик Р.И.<sup>2,3</sup>, Макаров Е.О.<sup>4</sup>,*

*Фирстов П.П.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *Институт прикладной математики и автоматизации КБНЦ  
РАН*

<sup>2</sup> *КамГУ имени Витуса Беринга*

<sup>3</sup> *Институт космических исследований и распространения  
радиоволн ДВО РАН*

<sup>4</sup> *Камчатский филиал Федерального исследовательского центра  
«Единая геофизическая служба РАН»*

В общем случае при проведении эманационных исследований с целями поиска предвестников землетрясений, выделения разломных зон земной коры, разработок математических моделей массопереноса геогаза и ряда других задач требуется четкое понимание процессов накопления геогаза (в первую очередь радона) в объеме накопительной камеры используемого прибора.

Концентрация радона, а так же время выхода на насыщение при достижении его равновесия с продуктами распада в накопительной камере зависит от величины плотности потока радона (ППР) с поверхности в месте установки такой камеры. Мониторинг радона признается многими исследователями как перспективный метод прогноза сильных землетрясений, особенно с небольшой глубиной очага. Для уверенного выделения аномалий в поле подпочвенного радона перед сильными сейсмическими событиями на фоне помех различной природы, необходима развитая сеть пунктов наблюдений. При организации пунктов мониторинга подпочвенного радона необходимо знать величину ППР с поверхности в выбранной точке, где будет устанавливаться накопительная камера. Все это определяет необходимость оперативной оценки ППР простым и доступным методом.

В работе представлена математическая модель на основе дифференциального уравнения Риккати с оператором дробного дифференцирования Герасимова-Капуто и переменным порядком дробности. Модель накопления радона в камере учитывает наследствен-

ные свойства среды, в которой мигрирует радон, а также использует нелинейную функцию, которая отвечает за механизмы поступления радона в камеру. Полученные модельные кривые сопоставляются с реальными данными. Показано, что предлагаемая в работе эредитарная модель дает лучшее согласие между модельными и реальными кривыми накопления радона и может быть использована для более точного описания процессов, происходящих в камере. Введение в уравнение эффекта наследственности дает дополнительную степень свободы, и позволяет более гибко моделировать процесс накопления радона в камере.

Работа выполнена при поддержке темы АААА-А19-119072290002-9 НИР КамГУ им. Витуса Беринга «Природные катастрофы Камчатки — землетрясения и извержения вулканов (мониторинг, прогноз, изучение, психологическая поддержка населения)» и проекта РФФИ № 20-05-00493.

## Авторский указатель

- Абанин О.И., 49  
Акбашев Р.Р., 35  
Акбашев Р.Р., 37  
Александров Д.В., 86  
Аржаненкова А.Н., 84
- Базилевская Г.А., 17  
Баишев Д.Г., 65, 67  
Балабин Ю.В., 14, 16, 23, 26  
Барышев П.Е., 42  
Баталева Е.А., 40, 82  
Бибнев А.С., 42  
Белецкий А.Б., 15, 25  
Бизуар К., 57  
Бобровский В.С., 69  
Богданов В.В., 77, 83  
Богинская Н.В., 78  
Богомолов Л.М., 78  
Болдина С.В., 75  
Борков Ю.Г., 24  
Бородин П.Б., 42  
Бортакур М., 17  
Будников П.А., 79  
Бычков В.В., 27
- Варгин П.Н., 21  
Варламов И.И., 65  
Васильев Р.В., 25, 33  
Ведерникова Т.И., 82  
Власова Н.А., 49  
Водинчар Г.М., 61  
Волков В.А., 86  
Воронин В.А., 63
- Гаврилов Н.М., 24  
Гапеев М.И., 81  
Гвоздевский Б.Б., 14, 26  
Германенко А.В., 14, 23, 26
- Годомская А.Н., 66  
Горовой С.В., 44  
Гранкин Д.В., 17  
Грач С.М., 15  
Громов С.В., 58  
Громова Л.И., 58
- Дейчули В.М., 27  
Денисов А.Ю., 42  
Дмитриев А.В., 27, 55  
Долгачёва С.А., 28  
Дрекслер П., 19  
Дружин Г.И., 19, 22  
Дубров М.Н., 86
- Ермакова Т.С., 24, 32
- Заводевкин И.А., 62  
Загайнова Ю.С., 58  
Загретдинов Р.В., 15  
Захаров В.И., 29  
Зенкин О.В., 76  
Зоркальцева О.С., 33  
Зотов Л.В., 57
- Иевенко И.Б., 65
- Калегаев В.В., 49  
Канониди К.Х., 42  
Капустина О.В., 22  
Карагодин А.В., 31  
Касимова В.А., 74  
Китаева А.В., 27  
Клименко М.В., 34  
Ковалев А.А., 54  
Коваль А.В., 24, 32  
Когогин Д.А., 15  
Козлов В. И., 67

- Козырева О.В., 50  
 Копылова Г.Н., 74, 75  
 Короченцев В.И., 44, 46, 63  
 Костылев Д.В., 72  
 Котиков А.Л., 42  
 Красноперов Р.И., 64  
 Кудин Д.В., 42, 64  
 Кузнецов В.В., 54  
 Кульков Д.С., 88  
 Кумыков Т.С., 19
- Лаврентьева Н.Н., 27  
 Ларионов И.А., 56, 86  
 Лобова Т.Ж., 44  
 Луковенкова О.О., 44, 60  
 Лукьянов А.Н., 21  
 Лыскова Е.Л., 84
- Макаров Е.О., 72, 89  
 Малкин Е.И., 19, 22  
 Мандрикова Б.С., 55  
 Мандрикова О.В., 39, 48  
 Марапулец Ю.В., 41, 56  
 Марчукова О.В., 57  
 Маурчев Е.А., 14, 23, 26  
 Махмутов В.С., 17  
 Мингалев О.В., 16  
 Миронова И.А., 17, 31, 34  
 Михайлов Ю.М., 22  
 Михалко Е.А., 14, 26  
 Мищенко М.А., 41, 56  
 Мрлина Я., 86
- Нагорский П.М., 37  
 Насыров И.А., 15  
 Николаев А.В., 28
- Окуличева А.А., 32  
 Оседло В.И., 49
- Павлов А.В., 77, 83
- Павлов А.Ф., 54  
 Павлов Е.А., 67  
 Павлов Н.Н., 49  
 Папшева С.Ю., 48  
 Парников С.Г., 65  
 Паровик Р.И., 45, 89  
 Пархомов В.А., 82  
 Петров В.Л., 49  
 Петрова Т.М., 27  
 Петросьянц В.В., 44  
 Пивнев П.П., 63  
 Пикулина П.О., 34  
 Пилипенко В.А., 50, 80  
 Погорельцев А.И., 24  
 Подзолко М.В., 49  
 Подлесный С.В., 33  
 Полак В., 86  
 Полозов Ю.А., 39  
 Пулинец М.С., 79  
 Пулинец С.А., 79  
 Пустовалов К.Н., 37
- Рахмонов З.Р., 45  
 Розанов Е.В., 17, 31, 34  
 Рокотян Н.В., 29  
 Рубинштейн И.А., 49  
 Руленко О.П., 41, 47  
 Рябова С.А., 43, 63
- Санников К.Ю., 84  
 Сапунов В.А., 42  
 Саункин А.В., 33  
 Сахаров Я.А., 50  
 Свертилов С.И., 49, 52  
 Семаков Н.Н., 54  
 Середкин И.Н., 27  
 Сецко П.В., 16  
 Сивоконь В.П., 53, 61  
 Сидоренков Н.С., 57  
 Сидоров Р.В., 42  
 Синнхубер М., 17

- Смирнов С.Э., 18  
Солодов А.А., 27  
Солодов А.М., 27  
Солодчук А.А., 44  
Стоппа Ф., 69  
Сулакшина О.Н., 24  
Сурков В.В., 80, 87  
Суходолов Т.В., 17, 34  
Сыренова Т.Е., 15, 25  
Сыгчев В.Н., 68, 78, 88  
Сыгчева Н.А., 59, 68, 88  
Сюз Вэй, 46
- Тагаев Т.И., 46  
Тарасов С.П., 63  
Татарников А.В., 25  
Твердый Д.А., 89  
Торопов А.А., 30  
Трифонов-Яковлева А.М.,  
29  
Тулупов В.И., 49  
Турбин Ю.Г., 42
- Федотова О.И., 54  
Фещенко Л.К., 61  
Фирстов П.П., 19, 35, 37, 62,  
72, 89
- Хомутов С.Ю., 42, 48, 82
- Цветкова Н.Д., 21  
Цэгмэд Б., 82
- Чен Веньцзянь, 44  
Ченцов А.В., 29  
Черепанова Е.А., 42  
Чернева Н.В., 19  
Черненко В.А., 46  
Черняева С.А., 28  
Чеснокова Т.Ю., 29  
Чжу Цзяньцзюнь, 63
- Шакирова А.А., 62  
Шевцов Б.М., 36  
Шемухин А.А., 49  
Шереметьева О.В., 66  
Шиндин А.В., 15  
Шиокава К., 65  
Шитов А.В., 69  
Шпак Ю.В., 44
- Щеглова Е.С., 25  
Щербина А.О., 44
- Эм А.А., 46
- Яковчук О.С., 34

# 1 Atmosphere physics

## 1.1 Annual variation of atmospheric electricity diurnal variation maximum in Kamchatka

*Smirnov S.E.*

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

Atmospheric electric field diurnal variation measured in fair weather conditions over the ocean surface has a typical form which is called a unitary variation. It is associated with the global time and occurs simultaneously all over the planet. However, the diurnal variation, measured over the ground depends on many local factors. The diurnal variation maximum of the electric field potential gradient, measured at Paratunka observatory, has the maximum close in time to the unitary variation maximum. In the paper we show that this maximum is determined by local conditions and is associated in time with the sunrise. The diurnal variation maximum of the electric field potential gradient, measured at Paratunka observatory in fair weather conditions, has annual variation coinciding with the annual variation of local time sunrise.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 1.2 Application of artificial intelligence for recovering of ionograms in Taiwan

*Dmitriev A.V.<sup>1,2</sup>, Chang Y.-C.<sup>2</sup>, Hsieh M.-C.<sup>2</sup>, Hsu H.-W.<sup>2</sup>,  
Huang G.-H.<sup>2</sup>, Li Y.-H.<sup>2</sup>, Lin C.-H.<sup>2</sup>, Lin Y.-C.<sup>2</sup>, Mendoza M.<sup>2</sup>,  
Tsai L.-C.<sup>2</sup>, Tsogtbaatar E.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State  
University, Russia*

<sup>2</sup> *National Central University, Taiwan*

Global Navigation Satellite System (GNSS) plays a crucial role for positioning and navigation. The GNSS accuracy is directly controlled by the conditions in the ionosphere. Routing monitoring of the ionosphere is conducted by ground-based ionosondes, which provide experimental information about radio-echoes from ionospheric

layers, so-called ionograms. The ionograms contain a lot of noise from numerous artificial transmitters such that the recovery of ionospheric signals becomes a very difficult problem. We present application of various machine learning (ML) techniques for determination of the signals from ionospheric E and F layers in very noisy environment of Taiwan, where the noise is comparable with the signal (SNR  $\sim 1$ ). It is shown that deep ML techniques allow reaching the accuracy up to 80% even for extremely nosy conditions.

### **1.3 Characteristics of thunderstorm activity in the Arctic region according to the measurement results in Tixie Bay**

*Toropov A. A.*

*SHICRA SB RAS*

The paper presents the results of a study of nearby thunderstorms from 2014 to 2020 in Tixie Bay (Polar Geocosmophysical Observatory, ShICRA SB RAS, 71,35' N, 128,46' E). A Boltek EFM-100 electrostatic field-mill is used to register nearby thunderstorms. Thunderstorms appear in the data of an electrostatic field-mill in the form of a sharp jump of large amplitude and a smooth fall within a few or even tens of seconds, which makes it possible to reliably identify each lightning within a radius of 15–20 kilometers from the observation point. The range of the measured electric field strength:  $\pm 20$  kV/m, with an accuracy of  $\pm 10$  V/m. Data resolution is one second. The electrostatic field-mill is located on the roof of the neutron monitor building.

The study showed that thunderstorms occur in the vicinity of the observation point every year. Duration of thunderstorms: from 18 minutes to 150 minutes. The number of lightning discharges registered in one thunderstorm varies widely — from 3 to 138 discharges. The intensity of lightning strikes: from 1 lightning every 36 seconds to 1 lightning every 50 minutes.

The reported study was funded by RFBR, project number 18-45-140028 r\_a.

## 1.4 Climatic variability of the stratosphere-troposphere coupling during the last decade

*Didenko K.A.<sup>1,2</sup>, Ermakova T.S.<sup>1,2</sup>, Pogoreltsev A.I.<sup>1,2</sup>,  
Rakushina E.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Russian State Hydrometeorological University*

<sup>2</sup> *Saint-Petersburg State University*

The analysis of climatic variability of the zonal mean flow, temperature, and stationary planetary waves amplitudes (SPW1, SPW2) has been carried out, using Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications (MERRA) and Japanese 55-year Reanalysis data (JRA-55). Moreover, climatic deviations of the Plumb's wave activity flux distribution under the different phases of the quasi-biennial oscillation (QBO) were shown with MERRA data Version 2 (MERRA-2).

Results show an increase in the intraseasonal variability of the mean zonal wind during the last decades and the statistical significance of these changes at the higher-middle latitudes in the stratosphere is sufficiently high for all data sets. An increase in the intraseasonal variability of temperature is observed at lower stratosphere levels and in 50N-70N latitude band and a weak cooling can be observed at the upper stratosphere levels in the MERRA data set.

The changes in the dynamical regime of the stratosphere are accompanied with the changes in the amplitude of the stationary planetary waves with different zonal wave numbers. Different datasets show an increase of the intraseasonal variability of SPW2 amplitudes and the most substantial changes in the SPW1 and mean zonal wind at the middle latitudes in the stratosphere during December. In January and February, the weakening of the SPW1 amplitudes has been observed during the last decades with the maximum at the higher-middle latitudes at the height of about 40 km and in February this weakening is insignificant.

Possible reasons of a strong variability are Quasi-Biennial Oscillation or/and El Nino Southern Oscillation (ENSO). To show the stratosphere-troposphere coupling and to estimate the QBO influence, the distributions of the Plumb's wave activity at 4 and 30 km for January were constructed. The years with the eastern and western

phases of the QBO were selected based on the method of decomposition of meteorological fields into empirical orthogonal functions (EOFs). Climatic deviations of the wave activity distribution are observed over the southern part of Eastern Siberia at 4 km with a shift to the region of Russian Far East at 30 km. Different QBO phases are characterized by a regional change of the wave activity flux from the troposphere to the stratosphere, and its redistribution in the troposphere. For further research and analysis, the middle and upper atmosphere model (MUAM) data will also be used.

The work was performed under the state assignment of the Ministry of higher education and science of the Russian Federation (project no. FSZU-2020-0009).

## **1.5 Development of a substorms catalog including the MPB observed at Panagjurishte station, Bulgaria**

*Guineva V.<sup>1</sup>, Werner R.<sup>1</sup>, Atanassov A.<sup>1</sup>, Bojilova R.<sup>2</sup>, Raykova L.<sup>1</sup>, Valev D.<sup>1</sup>, Setsko P.V.<sup>3</sup>, Lubchich A.A.<sup>3</sup>, Despirak I.V.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Space Research and Technology Institute (SRTI), Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora Department, Bulgaria*

<sup>2</sup> *National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography (NIGGG), Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria*

<sup>3</sup> *Polar Geophysical Institute (PGI), Aptity, Russia*

In this work the first results of the creation of a substorms catalog including the mid-latitude positive bays (MPB) registered at the Bulgarian station Panagjurishte (37° GMLat, 97° GMLon) are presented. MPB is the mid-latitude effect of substorm, which developed at auroral latitudes, and it is associated with the field aligned currents connected with the westward electrojet. The work went in several lines. First, the catalog design and content were taken. Second, tools of data processing have been developed. Third, substorms during two months, namely January and February 2013 were identified. And finally, data processing was implemented and the characteristics of the positive bays were determined. The obtained data and their visualizations were put in a convenient folder and file structure, ftp positioned. This study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number KP-06-Russia/15) and RFBR (project number 20-55-18003).

## 1.6 ELF range of electromagnetic radiation of a lightning discharge as a sprite indicator

*Druzhin G.I.<sup>1</sup>, Malkin E.I.<sup>1</sup>, Kapustina O.V.<sup>2</sup>, Mikhailov Yu.M.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio  
Wave Propagation RAS, Russia*

Sprites were discovered recently and incidentally in 1989. They are mainly recorded by optical cameras. As long as lightning and sprites can be recorded in ELF-VLF range, we tried to record sprites. In order to do that, we filtered out the radiations from lightning strokes in the range up to 1 kHz of the interval of 20 ms which exceeded the energy average value by 7 dB estimated within 1 minute. Then atmospherics were detected in this interval and the characteristics were determined such as maximums in VLF and ELF ranges, polarities of the first half periods of atmospherics in ELF range. We calculated the number of 20-second intervals, exceeding the energy average level by 7 dB, and the number of detected atmospheric “tails” detected in these intervals. They may indicate the presence of sprites.

## 1.7 Electrical structures of eruptive clouds on the example of Ebeko volcano explosions and intramass cumulonimbus clouds

*Akbashev R.R.<sup>1</sup>, Pustovalov K.N.<sup>2</sup>, Nagorsky P.M.<sup>2</sup>, Firstov P.P.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *GS RAS*

<sup>2</sup> *IMCES SB RAS*

A comparison of the response forms of the atmospheric potential gradient (PG) (slow variations of PG), during the passage of eruptive clouds (EC) from the explosions of the Ebeko volcano and intramass cumulonimbus (thunderstorm) clouds, which are single convective cells, is made.

The Ebeko volcano on Paramushir Island is one of the most active volcanoes of the Kuril Island Arc in terms of the frequency of eruptions. In October 2016, a new cycle of activity of the Ebeko volcano

began, which was expressed in sporadic volcanic-type explosions. With the most severe explosions, the height of their EO reaches 4–5 km n.o.m. In the KB of the Federal Research Center “Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences”, monitoring of PG is carried out in the city of Severo-Kurilsk, located 7 km from the crater of the volcano. Four types of perturbations are distinguished based on the kinematic and dynamic characteristics of the PG response records.

As an example of the PG response forms during the passage of intramass cumulonimbus (thunderstorm) clouds, slow variations of the PG recorded at the IMKES Geophysical Observatory SB RAS (Tomsk) were considered. A comparative analysis of the PG response forms showed that similar forms of slow variations of PG are observed during the passage of eruptive clouds and intramass cumulonimbus (thunderstorm) clouds, but the absolute values of PG in the case of the latter are an order of magnitude higher. Based on the above, we can conclude that the electrical structure of eruptive and intramass cumulonimbus clouds is similar.

## **1.8 Evaluation of surface meteorology for changes in cloud microphysics caused by clear weather anomalies Jz under the influence of an interplanetary magnetic field**

*Karagodin A.V.<sup>1</sup>, Mironova I.A.<sup>1</sup>, Rozanov E.V.<sup>2,1</sup>*

<sup>1</sup> *Department of Physics of Earth, Faculty of Physics, St. Petersburg State University, Russia*

<sup>2</sup> *PMOD/WRC and IAC ETHZ, Switzerland*

In the course of this study, we used the SOCOLv3 chemical-climatic model as the main tool for analyzing solar-terrestrial relationships to assess the response of surface meteorological parameters to changes in the autoconversion rate in clouds due to variations in the current density Jz. We found that even small changes in Jz and corresponding changes in the autoconversion rate in regions where anomalies in the electric potential of the polar cap, caused by the By component of the interplanetary magnetic field, occur, can lead to large-scale anomalies in surface pressure and air temperature

at high and middle latitudes. The work shows the importance of further investigating the relationship between solar activity and surface meteorology through the Global Electric Circuit using global climate models.

The work was done in the SPbSU “Ozone Layer and Upper Atmosphere Research Laboratory” supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement № 075-15-2021-583.

The study is supported by a grant Russian Foundation for Basic Research (RFBR project № 19-35-90134).

## **1.9 Experimentum crucis: background gamma radiation increasing during precipitation in the Arctic Ocean**

*Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B., Germanenko A.V., Mikhalko E.A., Maurchev E.A.*

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

During the marine scientific expedition, a multichannel instrument for cosmic rays monitoring was used to continuously measure the background gamma-radiation (energy range 20–600 keV). During the voyage in the Barents and Greenland seas, typical increases in gamma-radiation during precipitation were recorded. The same increases have been observed for many years at stations Apatity, Barentsburg (Spitsbergen archipelago), Rostov-on-Don, Neutrino (Northern Caucasus), Khulugay (Eastern Sayan). For the first time observations of gamma-radiation variations were carried out in high seas. The amplitude of the increases was  $\sim 20\%$ , the duration was 2–3 hours. The value of these observations is that a hypothesis of radionuclide emission from the soil during precipitation is completely ruled out. The observations of increases in the background gamma-radiation in hundreds of kilometers from the coastline unambiguously indicates that the increase reason can be neither the emission of radionuclides from the soil, nor the transfer of industrial ones by air masses.

## 1.10 Fractal structure effect on electric field within thunderclouds

*Kumykov T.S.<sup>1</sup>, Drexler P.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Applied Mathematics and Automation KBSC RAS*  
<sup>2</sup> *Brno university of technology, Czech Republic*

Both in the classical works of the last century, and in the works of modern geophysicists, special attention is paid to the increasing dependence on atmospheric phenomena powered by thunderstorms. The research for the electrical state and the thunderstorm activity forecasting has been more and more pressing year from year.

The available knowledge of physical and, especially, electrical, processes inside the thunderclouds does not yet respond to challenges in line with global trends.

To draw an objective, in physics sense, picture of the thunderstorm growth is impossible largely on the account of the limited number of the experimental data related to electrical parameters of the thunderstorm development at various stages. Therefore, investigations aimed at getting better understanding of thunderstorm electrophysical processes employing various mathematical modelling techniques that provide appropriate description are very much to the point.

In recent decades, thunderclouds physical processes studies in view of the fractal structure of the clouds have been expanded significantly. Clouds belong to irregular self-affine fractals, and the processes occurring in such a medium are described by differential equations involving fractional derivatives. This approach allows to implicitly include additional factors for physical system interaction. One of these factors is the fractal structure of the cloud environment. A fractal medium is a medium distributed in space, the mass dimension of which is less than the dimension of the space being filled. The mentioned factor together with the apparatus of fractional integro-differentiation basically transform the considered equations of atmospheric dynamics into differential equations of fractional order.

Developing mathematical models taking into account effect of the fractal structure on various geophysical processes is of great interest nowadays, that contribute to the general picture of cloud physics. The fractal dimension of cumulonimbus with particularly powerful convection currents is equal to 1,36. Fractal structure is a consequence of many processes and phenomena of irreversible growth

such as diffusion, aggregation, destruction, percolation, dynamic chaos, dissolution; and the fractional calculus is an excellent tool for describing related to them processes.

This study is devoted to thunderclouds and processes inside, and significant importance is attached to the electric field. We try to investigate the degree of the fractal structure influence on the static electric field strength using the apparatus of fractional integro-differentiation.

### 1.11 High-energy electron precipitation into the atmosphere based on balloon and satellite observations

*Mironova I.A.<sup>1</sup>, Sinnhuber M.<sup>2</sup>, Bazilevskaya G.A.<sup>3</sup>, Borthakur M.<sup>2</sup>,  
Grankin D.V.<sup>1</sup>, Makhmutov V.S.<sup>3</sup>, Rozanov E.V.<sup>1,4,5</sup>,  
Sukhodolov T.V.<sup>1,4,5</sup>*

<sup>1</sup> *Department of Physics of Earth, Faculty of Physics, St. Petersburg State University, Russia*

<sup>2</sup> *Institute of Meteorology and Climate Research, Karlsruhe Institute of Technology, Germany*

<sup>3</sup> *Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Russia*

<sup>4</sup> *PMOD/WRC and IAC ETHZ, Switzerland*

<sup>5</sup> *Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich, Switzerland*

Assessment of the atmospheric response to the precipitation of energetic electrons is important for a correct description of processes in the Earth's atmosphere. To correctly quantify these effects using chemistry-climate models, the spectrum of precipitated particles must be known with high accuracy over the entire range of precipitated electrons. Typically, energetic electron precipitation spectra are obtained using satellite instruments that provide global coverage with sparse temporal and spatial resolution and limited energy coverage. Balloon experiments provide valuable additional information about real fluxes of electrons precipitating into the atmosphere and energy spectra. This study uses a combination of balloon and satellite data to estimate ozone loss using high precision chemistry-climate models.

This work is done in the frame of the German-Russian cooperation project “H-EPIC” funded by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR project № 20-55-12020) and by the German Research Foundation DFG (grant SI 1088/7-1).

## **1.12 Influence of oxygen ions on the formation of a current sheet in the Earth’s magnetotail**

*Setsko P.V., Mingalev O.V.*

*Polar Geophysical Institute*

According to observations on the satellites Cluster, Themis, ISEE, Imp7, in the plasma layer at different distances from the Earth there are fluxes of oxygen ions flowing from the ionosphere along the magnetic field lines. Under disturbed conditions at the growth phase of the substorm, these flows are increasing. The paper investigates the effect of oxygen ions on the formation of a thin current sheet in the near Earth’s magnetotail using numerical simulation. It is shown that a thin current sheet can be supported by fluxes alone of relatively “cold” oxygen ions with a temperature of  $\sim 0.2\text{--}0.4$  keV. The width of the layer is approximately 1.5 times greater than analogous layer based on protons alone, while the characteristic bifurcation is enhanced in the profiles of the current density and concentration. It is also shown that configurations of this current sheet are possible, supported by oxygen ion fluxes and proton fluxes, in which oxygen ions carry a significant part of the current.

## **1.13 Influence of solar activity on the increase in background gamma radiation during precipitation**

*Balabin Yu.V.*

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

The cosmic ray station PGI (Apatity) has been monitoring the electromagnetic component of secondary cosmic radiation since 2010. A spectrometer based on a NaI(Tl) crystal with an energy range of 20–600 keV is used as a background gamma radiation detector.

The effect of an increase in gamma radiation during precipitation was discovered. Analysis of the data revealed that increases in gamma radiation during precipitation are observed all year round at all stations where observations are carried out. These increases are not associated with radioactive contamination of precipitation. In this study the events of an increase in gamma radiation during precipitation for the entire 24th solar cycle were selected, and a comparative analysis was performed to identify the features of increases at various phases of solar activity. It was found that the background level of gamma radiation weakly depends on the phase of the solar cycle, while the events of gamma radiation increase during precipitation are quite clear on dependence on solar activity.

### **1.14 Investigation of Arctic stratosphere dynamics peculiarities and its tropospheric impacts in the winter 2019–20 and 2020–21**

*Vargin P.N.<sup>1,2</sup>, Lukyanov A.N.<sup>1</sup>, Tsvetkova N.D.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Central aerological observatory, Moscow region*

<sup>2</sup> *Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow*

Using the NCEP and ERA5 reanalysis data, we analyzed the changes in the zonal wind, temperature, and propagation of planetary waves in the winters of 2019–20 and 2020–21, which strongly differ in the circulation of the Arctic stratosphere. The 2019–20 winter was characterized by an unusually strong and cold stratospheric polar vortex due to the weakened propagation of wave activity from the troposphere. As a result, a very strong destruction of the ozone layer was observed in the spring of 2020. The total value of the chemical destruction of ozone was estimated as 157 Dobson units using ozonsondes data. The circulation of the troposphere was characterized by a positive phase of the Arctic Oscillation (AO) with strong zonal winds and positive temperature anomalies in many regions. The winter 2020–21 was characterized by a stratospheric polar vortex weakened in early January as a result of the major Sudden Stratospheric Warming, accompanied by an increase in the Aleutian anticyclone. As a result, ozone depletion was minimal. In early

February 2021, upward wave activity propagation into the stratosphere over northeastern Eurasia was observed, followed by its reflection to the lower stratosphere and troposphere over northwest Canada, which was accompanied by strengthening of the low pressure area and cooling. In December – February, the AO was characterized by a negative phase with an enhanced meridional transport and negative temperature anomalies in many regions. The trajectories modeling and the M-function calculation was employed to study the variability of the fine horizontal structure of the stratospheric polar vortex and its boundary.

### 1.15 Large scale structures in the plasmasphere

*Lichtenberger J.<sup>1,2</sup>, Koroncay D.<sup>1,2</sup>, Kobán G.<sup>1</sup>, Ferencz Cs.<sup>1</sup>,  
Ferencz O.<sup>1</sup>, Sannikov D.V.<sup>3</sup>, Cherneva N.V.<sup>3</sup>, Clilverd M.<sup>4</sup>,  
Rodger C.<sup>5</sup>, Lotz S.<sup>6</sup>, Karimov R.R.<sup>7</sup>*

<sup>1</sup> *Department of Geophysics and Space Sciences, Eötvös University,  
Hungary*

<sup>2</sup> *Geodetic and Geophysical Institute, RCAES, Hungary*

<sup>3</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation,  
Russia*

<sup>4</sup> *British Antarctic Survey, United Kingdom*

<sup>5</sup> *Department of Physics, University of Otago, New Zealand*

<sup>6</sup> *SANSA Space Sciences, South Africa*

<sup>7</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy, Russia*

Obana et al reported a severe erosion of the plasmasphere on 8 September 2017, claiming that the plasmopause location was at LPP=1.6–1.7. Electron densities inferred from whistlers recorded by the AWDANet station at Kamchatka, Russia confirms the deep erosion – but on the other hand, the existence of whistlers strongly contradicts to the statement that the plasmopause was within L=1.7. Further, simultaneous electron density data from whistlers recorded at Rothera, Antarctica and Grahamstown, South Africa exhibit no erosion of the plasmasphere. The low density section situated in a limited latitudinal range existed for at least a day or longer. Thus the event might be a plasmaspheric notch discovered by IMAGE EUV measurements as they are co-rotating with the Earth, are limited in longitudinal extent and lasts for up to 60 hours. However the boundary

of the notches are thought to be the distorted plasmopause, again contradiction with existence of ground based whistler observations. Any possible explanation of the event is further complicated: choruses were detected in Kamchatka, simultaneously with whistlers.

## 1.16 Mid-latitude effects of expanded geomagnetic substorms: a case study

*Guineva V.<sup>1</sup>, Despirak I.V.<sup>2</sup>, Werner R.<sup>1</sup>, Bojilova R.<sup>3</sup>,  
Raykova L.<sup>1</sup>, Kleimenova N.G.<sup>4</sup>, Lubchich A.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Stara Zagora Department, Bulgaria*

<sup>2</sup> *Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>3</sup> *National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography (NIGGG), Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria*

<sup>4</sup> *Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia*

The goal of this work is to examine the effects of the expanded or high-latitude substorms at mid-latitudes. These substorms are generated at auroral latitudes and propagate up to geomagnetic latitudes above 70° GMLat. They are usually observed during recurrent high-speed streams (HSS) from coronal holes. To identify the substorm activity, data from the networks IMAGE, SuperMAG and INTERMAGNET, and data from the all-sky cameras in Apatity and in Barentsburg were used. To verify the interplanetary and geomagnetic conditions, data from the CDAWeb OMNI and from the WDC for geomagnetism at Kyoto were taken. Several isolated substorms have been considered. Two events are presented in detail: 1) the substorm on 20 February 2017 at 18:40 UT, it developed at the end of a HSS, in non-storm conditions; 2) the substorm on 30 March 2013 at 19:10 UT, it occurred during a HSS, when a small geomagnetic storm was generated (SYM/H=-65nT). The mid-latitude positive bays (MPB), at the Scandinavian meridian have been studied. The bay sign conversion from negative to positive values was observed at about 59° GMLat. The longitudinal and latitudinal extent of the MPB and their characteristics were examined. This study was supported by the National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number KP-06-Russia/15) and RFBR (project number 20-55-18003).

## 1.17 Modeling of the Earth atmosphere ionization by the galactic cosmic rays and the solar cosmic rays

*Maurchev E.A., Germanenko A.V., Balabin Yu.V.*

*Polar Geophysical Institute*

An important task of cosmic ray physics is to estimate the radiation safety during solar flares, which are accompanied by the ground level enhancement (GLE, count rate increasing on neutron monitors). This phenomenon can be explained by the fact that the number of particles in the energy range from 1 GeV to 10 GeV increases in the flow of primary protons, which can lose their energy both for ionization and penetrate deeply into the atmosphere, causing cascade processes. The Polar Geophysical Institute has developed the RUSCOSMICS software package, the main of which is the ability to obtain the ionization altitude profiles for a given region of the atmosphere, using the spectra of primary protons of cosmic rays, both solar and galactic, as input. At the same time, the methodology for calculating spectra, as well as reception cones and pitch-angle distributions, has also been developed at the Polar Geophysical Institute. An important feature used in this work is that when modeling the interaction of particles, parallel computations are used (based on a computing center with an installed Intel Xeon Phi 5110 coprocessor and an Intel Core i7 main processor), which makes it possible to expand the applicability of the model from the local region to the global geometry atmosphere of the Earth. This work presents the results obtained for both galactic and solar cosmic rays in the form of ionograms at heights from 1 km to 80 km with a step of 1 km for all values of latitude and longitude with a step of 5 degrees. Previously, we also verified the model using the data obtained during the launch of the balloon-probes. Today this part of the study continues, including the development of our own system for measuring the fluxes of charged particles.

## 1.18 Modelling of the sensitivity of global atmospheric circulation and planetary waves to the solar activity changes

*Gavrilov N.M.<sup>1</sup>, Koval A.V.<sup>1</sup>, Pogoreltsev A.I.<sup>2</sup>, Ermakova T.S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Saint Petersburg State University*

<sup>2</sup> *Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg State University*

Global-scale atmospheric disturbances, such as planetary waves (PWs), play a significant role in formation of the atmospheric general circulation, influencing its dynamical and thermal conditions. Changes in solar radiation due to cyclic solar activity (SA) variations influence the thermal structure and alter conditions of wave propagation and reflection at different atmospheric layers. Using numerical simulations of the general atmospheric circulation during boreal winter, statistically confident evidences are obtained, demonstrating that changes in the SA in the thermosphere at heights above 100 km can influence propagation and reflection conditions for PWs and can modify the middle atmosphere circulation. A numerical mechanistic model (MUAM) simulating atmospheric circulation and PW structures at heights 0–300 km is used. To achieve sufficient statistical significance, ensembles of model runs corresponding to low and high SA are obtained. Results averaged over these ensembles show that impacts of SA above 100 km may significantly change the mean zonal wind and temperature at altitudes below 100 km. The main mechanism of these variations is change in the conditions of propagation and reflection of PWs travelling upward from the lower atmosphere. For instance, the statistically significant changes in SPW amplitudes due to SA impacts above 100 km reach up to 10–15% in the middle atmosphere depending on their zonal wavenumber. Changes in wave amplitudes correspond to variations of the Eliassen-Palm flux and may alter dynamical and thermal PW impacts on the mean wind and temperature.

## **1.19 Monitoring of atmospheric transparency at night based on data from optical instruments of the National Heliogeophysical Complex**

*Beletsky A.B., Syrenova T.E., Vasiliev R.V., Tatarnikov A.V.,  
Shcheglova E.S.*

*Institute of solar-terrestrial physics SB RAS, Russia*

The paper considers the possibility of monitoring the atmosphere transparency at night using ground-based optical instruments of the National Heliogeophysical Complex (all-sky cameras, spectrometers of the visible and infrared ranges, photometers, Fabry-Perot interferometers). The transparency estimate is based on the simultaneous recording of the stars of known luminosity intensity with different elevation angles and in different narrow spectral ranges. Automatic recognition and stars identification in snapshots of all-sky optical systems is carried out using previously developed software.

Monitoring the atmospheric layer transparency at night will increase the accuracy of the intensity measuring of atmospheric emissions, as well as the efficiency of identifying disturbances in the noise radiation of the upper atmosphere, induced, among other things, by powerful tropospheric and lithospheric sources.

The work was carried out within the framework of a Large project of the Ministry of Science and Higher Education “Fundamental foundations, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the ecological situation of the Baikal natural territory” (grant № 13.1902.21.0033).

## **1.20 Muon telescope in the complex system of registration of cosmic rays in Apatity**

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

*Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

A muon telescope (MT) was created at the cosmic ray station of the Polar Geophysical Institute in Apatity. It is the northernmost MT in the world. The telescope has two scintillator plates separated

by a 10 cm layer of lead. The electronic circuit provides the following output channels: the upper scintillator, the lower scintillator, and the channel of coincident pulses of the upper and lower detectors. The MT is included in the secondary cosmic ray monitoring system in Apatity. Solar activity in 2020 was at a minimum; there were no significant variations in cosmic rays, as shown by the data of neutron monitors, during this period. Only seasonal variations in muon fluxes associated with processes in the atmosphere are noted. In addition, MT data is used to analyze the variation in soft gamma radiation associated with precipitation. Also, MT data are used to verify numerical models of the propagation of cosmic rays in the atmosphere by comparing the calculated flux of charged particles at ground level and the actually observed one.

This study is supported by a grant of the Russian Science Foundation № 18-77-10018, <https://rscf.ru/en/project/18-77-10018/>.

## 1.21 New spectroscopic data on $H_2O$ and $CO_2$ molecules absorption lines

*Petrova T.M.<sup>1</sup>, Deichuli V.M.<sup>1</sup>, Solodov A.M.<sup>1</sup>, Solodov A.A.<sup>1</sup>,  
Lavrentieva N.N.<sup>1</sup>, Kitaeva A.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Tomsk State University, Russia*

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  $H_2O$ ,  $CO_2$  and  $CH_4$  molecules. Water vapor plays a leading role in various physical and chemical processes in the atmosphere; water vapor is responsible for approximately 70% of radiation absorption. Carbon dioxide ( $CO_2$ ) and methane ( $CH_4$ ) 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 (Grants № 18-45-700011 p\_a and № 19-03-00389 A).

## **1.22 Observations of resonant scattering in the thermosphere and upper mesosphere in the winter season of 2021**

*Bychkov V. V.<sup>1</sup>, Seredkin I.N.<sup>1</sup>, Dmitriev A.V.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *National Central University, Taiwan*

<sup>3</sup> *MSU*

An analysis of the Kamchatka lidar station data obtained in January–February 2021 is presented. Pronounced light scattering layers are found at altitudes of about 300 km. Layers at these heights appear during precipitation of electrons with energies of about 300 eV. Analysis of the lidar data showed that increased light scattering was observed at the heights of the mesosphere, accompanied by an increase in the ionospheric parameter  $f_{min}$ . It was concluded that the observed aerosol formations in the mesopause region could be caused by precipitation of charged particles with energies less than 500 eV. Aerosol formations in the area of 60–75 km should be recognized as imaginary. They can be caused by resonant scattering by excited ions of atomic nitrogen.

## 1.23 On the accuracy of aurora visible boundaries in the OVATION Prime (PC) model

*Nikolaev A.V., Dolgacheva S.A., Chernyaeva S.A.*

*Arctic and antarctic research institute*

Location of the auroral oval equatorial boundaries under different magnetospheric conditions contains information about the dynamics of the plasma sheet inner boundary, plasma sheet structures and depth of their propagation toward the inner magnetosphere. The development of algorithms and methods estimating location of the visible equatorial boundary greatly contribute to the testing of the auroral ionospheric models and models of high-latitude particle precipitation. Research of aurora borealis (forecast, intensity, position) also plays an important role for the tourism in the Arctic and services of space weather monitoring and forecasting. To estimate the accuracy of the visible aurora location in auroral precipitation models we chose all-sky optical observations provided by THEMIS project, launched in 2008, and a modified OVATION Prime (PC) model, developed in the Department of Geophysics of Arctic and Antarctic Research Institute. In contrast to the original OVATION Prime (2010) model, the modified version uses the ground-based polar cap index (PC index) as an input parameter, which increases the accuracy of the model.

## 1.24 Reaction of the mesosphere and lower thermosphere to the dynamics of the lower atmosphere

*Zorkaltseva O.Z.<sup>1</sup>, Vasilyev R.V.<sup>2</sup>, Saunkin A.V.<sup>3</sup>, Podlesnyi S.V.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of solar-terrestrial physics SB RAS, Irkutsk State University*

<sup>2</sup> *Institute of solar-terrestrial physics SB RAS, Irkutsk State University*

<sup>3</sup> *Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS*

We study the response of the mesosphere-lower thermosphere (MLT) to sudden stratospheric warmings (SSWs) and the activity of planetary waves (PWs). We observe the 557.7 nm optical emission to retrieve the MLT wind and temperature with the only Fabry-Perot

interferometer (FPI) in Russia. The FPI is located at the mid-latitudes of eastern Siberia within the Tory Observatory (TOR) at the Institute of Solar-Terrestrial Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISTP SB RAS, 51.8N, 103.1E). Regular interferometer monitoring started in December 2016. Here, we address the temporal variations in the 557.7 nm emission intensity as well as the variations in wind and temperature measured during the 2016–2021 winters. Both SSWs and PWs appear to have equally strong effects in the upper atmosphere. When the 557.7 nm emission decreases due to some influences from below (SSWs or PWs), the temperature increases significantly, as does its variability. The dispersion of zonal wind does not show significant PW- and SSW-correlated variations, but the dominant MLT zonal wind reverses during major SSW events simultaneously with the averaged zonal wind at 60N in the stratosphere.

## **1.25 Relaxation and nonlinear oscillations of a magnetic dynamo: beats in solar activity**

*Shevtsov B.M.*

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

A general and universal approach to the dynamo problem is proposed. The magnetic dynamo is considered as a relaxation system in which anharmonic oscillations arise as a result of magnetic energy accumulation and release. The nonlinear dynamo mechanism is defined by a balance between Archimedes and Lorentz forces. A generalized Lienard equation for magnetic induction is obtained. The main dynamo numbers are estimated for solar activity and it was shown that Sun magnetic oscillations are quasi-harmonic. The previously unknown nonlinear magnetic oscillations is revealed. Three dynamo modes depending on convection intensity are discussed.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 1.26 Response of the ionosphere-atmosphere system on solar flares and energetic particle precipitation during extreme events

*Mironova I.A.<sup>1</sup>, Klimenko M.V.<sup>1,2</sup>, Pikulina P.O.<sup>1</sup>,  
Rozanov E.V.<sup>1,3,4</sup>, Sukhodolov T.V.<sup>1,3,4</sup>, Yakovchuk O.S.<sup>1,5</sup>*

<sup>1</sup> *Department of Physics of Earth, Faculty of Physics, Saint Petersburg State University, Russia*

<sup>2</sup> *IZMIRAN, Russia*

<sup>3</sup> *PMOD/WRC and IAC ETHZ, Switzerland*

<sup>4</sup> *Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich, Switzerland*

<sup>5</sup> *Institute for Environmental Systems Research, University of Osnabrueck, Germany*

This paper analyzes the response of the ionosphere-atmosphere to extreme solar activity. New estimates of the impact of extreme solar activity on the atmosphere and lower ionosphere are presented here. The new findings complement our growing understanding of how impulsive solar events and energetic particle precipitations during geomagnetic storms and solar flares affect the Earth's ionosphere-atmosphere system and provide a basis for understanding their combined effects on the atmosphere and climate.

The study is supported by a grant Russian Science Foundation (RSF project №20-67-46016).

## 1.27 Results of physical modeling of the response of the the atmospheric potential gradient to the passage of eruptive clouds from the explosions of the Ebeko volcano (Paramushir Island)

*Akbashev R.R., Firstov P.P.*

*GS RAS*

In the period from July 29, 2020 to August 5, 2020, full-scale experimental work was carried out to register the potential gradient atmospheric (PG) during the eruptions of Ebeko Volcano.

The variations in PG were recorded at three registration point. Registration point were located from the crater of the volcano along one line at different distances. Three main types of responses have been identified. In order to explain the nature of the recorded responses in a full-scale experiment, physical modeling was carried out. For these purposes, ash was taken from the slope of the Ebeko volcano, and an experimental stand was prepared. The experimental stand made it possible to simulate an ash cloud and set its direction and propagation speed. The device of the experimental stand is made in such a way that the charging of ash particles occurs due to the triboelectric effect. As a result of physical modeling, the PG responses were obtained, corresponding to the PG responses recorded in a full-scale experiment. The results of physical modeling made it possible to explain the physics of the process of recorded responses PG in a full-scale experiment.

## 1.28 Retrieval of methane and carbon oxides content from the atmospheric spectra of solar radiation

*Chesnokova T. Yu.*<sup>1</sup>, *Chentsov A. V.*<sup>1</sup>, *Rokotyanyan N. V.*<sup>2</sup>, *Zakharov V. I.*<sup>2,3</sup>, *Trifonova-Yakovleva A. M.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *V. E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences*

<sup>2</sup> *Ural Federal University*

<sup>3</sup> *N. N. Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*

Carbon dioxide ( $CO_2$ ), carbon monoxide ( $CO$ ) and methane ( $CH_4$ ) are toxic gases in case of high content, as well as it impacts on greenhouse effect. Their concentration is increased due to anthropogenic influence and natural factors (forest fires, volcanic emissions). Therefore, regular monitoring of carbon oxides and methane content is carried out with use of spectroscopic remote sensing methods where one needs to solve the inverse problem of gases content retrieval from the atmospheric solar spectra, measured by satellite and ground-based spectrometers.

In our work, the atmospheric transfer of solar radiation in near infrared region is simulated, and  $CO_2$ ,  $CO$  и  $CH_4$  atmospheric

total column is retrieved from the solar spectra measured by a ground-based Fourier spectrometer in Kourovka observatory, Yekaterinburg. A comparison with satellite measurements is made. The recommendations for application of spectroscopic databases of absorption line parameters in the remote sensing of the atmospheric gas content are developed on basis of complex approach with use of large number of measured spectra and statistic criterions of quality estimation of inverse problem solution. It allows an increase of accuracy of the atmospheric gases content retrievals.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences) and the Russian Foundation for Basic Research (Grant № 18-45-700011 p\_a).

## 1.29 Simulation spectra of the OH and OD molecules in the UV region

*Sulakshina O., Borkov Yu.*

*IAO SB RAS*

Simulation of the spectra of diatomic stable radicals OH and OD in the ultraviolet range for the electronic systems  $A^2\Sigma^+ - X^2\Pi$  and  $B^2\Sigma^+ - X^2\Pi$  has been done. The “SpecRad” program created by the authors was used for modeling. The molecular parameters used for calculating the transition frequencies in the indicated electronic systems were found by processing the available experimental data. The transition probabilities were determined based on the available literature data. The model spectra were compared with the experimental ones.

### 1.30 Special effects of early sudden stratospheric warmings

*Ermakova T.S.<sup>1,2</sup>, Koval A.V.<sup>1</sup>, Okulichева A.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *St Petersburg University*

<sup>2</sup> *Russian State Hydrometeorological University*

Canadian Sudden Stratospheric Warmings (CSSWs) occur in early winter in the stratosphere of the Northern Hemisphere, usually from mid-November to early December. Despite the fact that the definition of SSW and its classification was formulated a long time ago, little is known about CSSWs. The aim of this work is to determine the frequency of the formation of CSSWs and analyze their manifestation in the winter stratosphere of the Northern Hemisphere using two reanalyses data JRA-55 and MERRA-2. The analysis of the studied winters (since 1958) showed that CSSWs are observed in each decade twice or more. It is known that the frequency of “classic” SSWs decreased in 1990–1999 comparing other decades. The corresponding studies did not take into account the CSSWs; however, according to the results obtained, it was the frequency of the CSSWs that increased in this decade.

Warming is observed when the zonal component of wind has a negative sign, it is traditionally viewed at mid-latitudes, and the temperature anomaly occurs in the polar region. The results showed that the temperature anomaly in November does not last long, as a rule, and its magnitude is not so significant in comparison with the SSW occurring in the winter months. The behavior of the zonal component is noteworthy: the reversal of the zonal component can be observed from several days to a couple of weeks. The consequences of this reversal are manifested in different ways in the dynamics of the polar stratosphere. If the zonal component has a negative value for a long time, then the next “classic” SSW in the second half of December or early January leads to the splitting of the stratospheric polar vortex (PV). With not long enough reversal, the subsequent SSW tends only to displace or stretch the PV.

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation in the framework of research project № 20-77-10006.

## 1.31 Thermosphere Lidar: resonant reflections and review of observations

*Shevtsov B.M.*

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

The theory of resonant reflections, statistic effects, the scattering coefficient, the cross-section, the role of ionization and recombination, neutral atoms, thermosphere components, inverse scattering problem, review of observations are considered. The lidar observations on ultra-long routes in atmosphere are discussed.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 1.32 Thunderstorm activity during the eruption of volcanoes of the northern group

*Malkin E.I.<sup>1</sup>, Firstov P.P.<sup>2</sup>, Cherneva N.V.<sup>1</sup>, Druzhin G.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of cosmophysical research and radio wave propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Kamchatka Branch of Federal Research Center, Geophysical Survey  
RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

Volcano eruption is a catastrophic process which, in the far field zone of impact, has the hazard of the highest priority in the form of an eruptive cloud (EC) consisting of ash and volcanic gases. EC propagation monitoring realized by different methods allows us to warn about ash hazard. That gives the possibility to take preventive actions to reduce the consequences. One of the methods to detect EC location is the determination of the location of lightning strokes occurring in an accompanying volcanic thunderstorm.

The paper describes the cases of lightning activity recorded by VLF direction finder (30 Hz – 4 kHz) located at a complex geophysical expedition site Karymshina. The observations were carried out during the explosions of Shiveluch and Bezymyanni volcanos from 2017 to 2019. Electromagnetic pulse features corresponding to different stages of volcanic lightning development were detected.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

### 1.33 Variations in the parameters of the Earth's atmosphere and ionosphere during exposure to high-power short-wave radio emission from the “Sura” stand

*Beletsky A.B.<sup>1</sup>, Nasyrov I.A.<sup>2</sup>, Syrenova T.E.<sup>1</sup>, Kogogin D.A.<sup>2</sup>,  
Grach S.M.<sup>3</sup>, Shindin A.V.<sup>3</sup>, Zagretdinov R.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of solar-terrestrial physics SB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Kazan Federal University, Russia*

<sup>3</sup> *Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Russia*

The paper analyzes the spatial distribution of atmospheric emission intensity of atomic oxygen 630 nm and the spatial picture of the total electron content (TEC) obtained during the 2012–2018 experimental campaigns on the forcing on the ionosphere of high-power short-wave radio emission from the Sura stand. Optical measurements were carried out using the KEO Sentinel all-sky system (field of view 145°, interference filter half-width  $\sim 2$  nm, exposure 30s), located  $\sim 170$  km east from the stand on the KFU magnetic observatory. TEC maps were built on the basis of a wide network of GNSS stations located in the vicinity of the stand. The measurements were carried out both during the activation of the stand and without its action, which allows one to analyze the influence of the stand radiation on the variations, which manifests itself in the atomic oxygen 630 nm atmospheric emission intensity and TEC. When processing the data, the previously developed algorithm for geographic referencing of KEO Sentinel optical system frames was used.

## 2 Geophysical fields and their interaction

## 2.1 “Drumcorr” software for selecting earthquake multiplets based on cross-correlation analysis

*Zavodevkin I. A., Shakirova A.A., Firstov P.P.*

*Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences*

To select multiplets in the flow of earthquakes, the DrumCorr application program was developed based on cross-correlation detection. The program is implemented in Python version 3 and is intended for reading seismoacoustic data in ASCII and MiniSeed formats. The article describes the algorithm of the program, describing the cross-correlation detector and the subsequent processing of the data obtained. The program was applied to earthquakes of the seismic mode “drumbeats” recorded during the eruption of Kizimen volcano in 2010–2013, which were generated by the movement of the front of a viscous lava flow. As a result of the analysis of more than 280,000 earthquakes by the DrumCorr program, 17 multiplets were identified, characterized by special waveforms. The results of the analysis at the qualitative level coincide with the results of data processing by the “manual method”.

## 2.2 A new quantum model of the magnetic field of the hot Earth, Moon and terrestrial planets

*Kuznetsov V.V.*

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

Distribution of P- and S- waves velocities in the Earth’s inner core suggests that its matter has been quantum entangled since the creation of the Earth and the Solar system. With this assumption we develop the quantum model of the geomagnetic field evolution beginning with its start and ending with its disappearance. Magnetic and paleomagnetic data on the Earth, Moon, Mercury and Mars analysed in the frameworks the Hot Earth model and features of their gravitation recorded at NASA project offered as conditions for the planets formation and evolution and so predictions for the further evolution of the Earth and its magnetic field. The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## **2.3 Analysis of ionospheric parameters based on NARX neural networks**

*Mandrikova O.V., Polozov Y.A.*

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

The paper presents the results analysis of foF2 ionospheric parameters using NARX neural networks. NARX networks of different architectures have been built. The complex dynamics of foF2 which depends on the level of solar activity and the season was taken into account during constructing the networks. The quality of the foF2 approximation was compared for different neural networks.

The work was carried out as part of the implementation of the state task 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.

## **2.4 Analysis of the features of the spatio-temporal distribution of geoelectric inhomogeneities in the Earth crust and seismic events**

*Bataleva E.A.*

*Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek*

The paper presents the results of experiments carried out at the regime points of magnetotelluric monitoring both on the territory of the Bishkek geodynamic test site (Northern Tien Shan) and on a series of monitoring profiles in various geological conditions. Previous studies indicate the relationship of variations in the electromagnetic and seismic fields, lunisolar tidal effects, seismic regime with the processes of fracturing. The purpose of this work is to establish the features of the relationship between the spatio-temporal distribution of seismicity and the distribution of geoelectric inhomogeneities in the Earth's crust (fault-block tectonics of the region). Based on the analysis of the results of the interpretation of magnetotelluric data (2D inversion) and new detailed seismotomographic constructions, the verification of geoelectric models was carried out, the analysis of the distribution

of hypocenters of seismic events was carried out. Special attention was paid to the confinement of earthquakes to listric fault structures. The relationship between the distribution of the hypocenters of seismic events and the spatial position of the electrical conductivity anomalies is confirmed by the authors explanation of the physical nature of the identified conducting structures, based on hypotheses of fluidization and partial melt of the Earth's crust.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Research Station of the Russian Academy of Sciences on the AAAA-A19-119020190063-2 topic.

## **2.5 Analysis of the manifestation of the joint acoustic and electrical response of near-surface sedimentary rocks to deformation by seismic waves of earthquakes in South Kamchatka**

*Mishchenko M.A.<sup>1</sup>, Rulenko O.P.<sup>2</sup>, Marapulets Yu.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Russia*

The study of the previously discovered joint acoustic and electrical response of near-surface sedimentary rocks to deformation by earthquakes seismic waves is continued. Seismic events with energy class  $K_s > 11.0$  that occurred from June 2017 to May 2021 near the eastern coast of Kamchatka in the latitude range 51.7–54.0 are considered. Fifty-two earthquakes were selected from this series. During the passage of seismic waves from these earthquakes, an acoustic response of near-surface sedimentary rocks was observed at “Karymshina” observation point (IKIR FEB RAS). The manifestation of the joint acoustic and electrical response of rocks is considered. The manifestation of only the acoustic response of rocks, both low-frequency and high-frequency ( $> 100$  Hz), is also considered. Using Spearman's nonparametric correlation analysis, a statistically significant relationship between the energy class of the considered earthquakes and their hypocentral distance was found in both cases.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 2.6 Analysis of the short-term variations of IMF Bz and AE index

*Polozov Y.A.*

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

Variations in the IMF Bz component affect the Earth's magnetic field, especially during a southward roll. The AE index associated with changes in the magnetosphere and shows the level of energy penetrating into the magnetosphere and ionosphere. Both of these parameters reflect the impact of space weather. The paper analyzes short-term changes in the IMF Bz and AE index data. The statistical relationship between these parameters was estimated. The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 2.7 Application of adaptive wavelet thresholding to recovery geophysical signal pulse waveforms

*Lukovenkova O.O.*

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

Recorded geophysical signals often contain noise and interference. Their appearance is caused by a number of reasons, for example, heterogeneity of the propagation environment, influence of the weather conditions, human activity, etc.

So, geoacoustic emission signals contain a persistent background noise that changes in intensity over time. This noise significantly distorts the geoacoustic pulse waveforms and thus complicates analysis of the signal characteristics.

The report presents the results of estimating the geoacoustic signal background noise. On the basis of these estimates, a method of adaptive wavelet thresholding is proposed to remove noise from the signal and recover the single pulse waveforms. The threshold value is calculated using the Empirical Bayes Method. Thresholding is performed according to the posterior median rule.

In conclusion, the results of a computational experiment are presented. It confirms the effectiveness of using the chosen method for the geophysical signal preprocessing.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## **2.8 Checking the stability of solutions in shell models using symbolic computations**

*Feshchenko L.K., Vodinchar G.M.*

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

The paper developed a method for constructing shell turbulence models.

Drawing up a system of equations for the coefficients of nonlinear interactions in model and its exact solution is implemented using computer algebra systems.

This technique and the programs that implement it solve the problems of fast and error-free generation of entire classes of shell models.

This technology can be easily supplemented with conditions that ensure the existence of stationary solutions with a power-law distribution over the scale, which are typical for turbulent systems.

Also, a study on the stability of the obtained systems is carried out and an analysis of the dependence of the input parameters on the behavior of the solutions of the systems is constructed.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## **2.9 Detection and analysis of anomalous events in neutron monitor data based on machine learning methods**

*Mandrikova B.S.<sup>1</sup>, Dmitriev A.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *National Central University, Taiwan*

The results of processing the data of secondary cosmic rays for periods of strong and moderate magnetic storms for 2020–2021 are presented. The analysis of the events under consideration was carried out on the basis of the construction of nonlinear approximating schemes and the Autoencoder neural network. The effectiveness of using the proposed mathematical apparatus for analyzing the data of neutron monitors at high and middle latitude stations has been empirically confirmed. The possibility of software implementation of the proposed approach is shown.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0 on the topic “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric influences”.

## **2.10 Extreme-value magnetic events on the territory of Russia derived from ground-based observations during the 24th solar cycle**

*Kudin D.V., Krasnoperov R.I.*

*Geophysical Center RAS*

The statistical distribution of geomagnetic disturbances based on ground-based observations on the territory of Russia and neighboring countries is studied. The extreme values of the amplitudes of variations of the horizontal component of the Earth’s magnetic field (EMF) are determined. The data from observatories that carried out continuous registration of the EMF during the entire 11-year cycle of solar activity in 2009-2019 was analyzed. The joint database of the GC RAS contained 12 observatories (8 Russian) met the described criteria.

## **2.11 Fluctuations of electromagnetic radiation scattered on artificial irregularity of the ionosphere**

*Sivokon V.P.*

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

With the help of the formation of artificial field-aligned ionospheric irregularities, it is planned to solve a number of applied problems related to improving the efficiency of radio engineering systems. For example, in the task of transmitting information in an interlayer ionospheric waveguide, they must ensure its excitation and output of an electromagnetic signal from it. At the same time, it is assumed that the transmitted signal will be scattered on artificial inhomogeneities of the ionosphere. It is known that scattering on irregularities leads to signal fading, the magnitude of which depends on the parameters of the inhomogeneities and the signal frequency used. Using observations of experiments carried out on heating stands, an attempt is made to estimate the magnitude of fading from the method of forming irregularities.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## **2.12 GIC and irregular geomagnetic pulsations during the ULF wave challenge event: Magnetic storm on 27–28 May 2017**

*Pilipenko V.A.<sup>1</sup>, Sakharov Ya.A.<sup>2</sup>, Kozyreva O.V.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Geophysical Center*

<sup>2</sup> *Polar Geophysical Institute*

<sup>3</sup> *Institute of Physics of the Earth*

The goal of the ULF wave modeling challenge campaign for 27–28 May 2017 storm involves running various global MHD simulation codes with realistic solar wind driving conditions, and then comparing the resulting global ULF wave properties with actual observations. Data-model comparisons are aimed to identify where

model/data don't agree and discuss these differences, missing physics, etc. During the magnetic storm on May 27–28, 2017 the magnetic disturbance gradually increased and then slowly decayed. However, during the maximal disturbance magnetic field variations became more chaotic. During this period intense irregular Pi3 pulsations were superposed on the magnetic bay. These pulsations are not quasi-sinusoidal waves like typical Pc5 pulsations; but they are rather quasi-periodic sequence of magnetic impulses with time scales  $\sim 10\text{--}15$  min. During this period with elevated Pi3 activity very high values of GIC were recorded (up to  $\sim 50$  A per node) in the electric power transmission line at the Kola Peninsula. Here we consider the contribution of geomagnetic disturbances to the rapid growth of GIC during the 27–28 May 2017 strong geomagnetic storm, and examine a feasibility of MHD global simulation to predict the occurrence of Pi3 pulsations, and consequently GICs. The study is supported by the grant 21-77-30010 from the Russian Science Foundation.

## **2.13 GICs in the main transmission line “Northern Transit” in Russia and in the Mantsala Finland Pipeline: cases 17.03.2013 and 15.03.2012**

*Setsko P.V.<sup>1</sup>, Despirak I.V.<sup>1</sup>, Sakharov Ya.A.<sup>1</sup>, Selivanov V.N.<sup>2</sup>,  
Werner R.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup> *Northern Energetics Research Center, Apatity, Russia*

<sup>3</sup> *Space Research and Technology Institute, BAS, Stara Zagora  
Department, Stara Zagora, Bulgaria*

Geomagnetically induced currents (GICs), arising both on power lines and on pipelines, may have strong negative impact on the technological networks up to accidents (“blackout”). Magnetospheric disturbances are one of the factors in the appearance of GICs, however there is no unambiguous relationship between substorm and presence of currents. In this paper, we consider two intense cases of GIC (15 March 2012 and 17 March 2013), registered on two different technological networks: 1) on the “Northern Transit” power

line (Vykhodnoy, Revda and Kondopoga stations) located in the auroral zone ( $>15-20$  A); 2) on the Finnish natural gas pipeline near Mantsala located in the subauroral zone ( $>30$  A). Both GIC cases are compared with substorm development in the auroral zone, using data from IMAGE magnetometers network and MAIN camera system in Apatity. It is shown that not only good agreement is observed between the GIC profile and Wp-index, which describes the wave activity of the substorm, but also with the thin spatio-temporal structure of the substorm development (the appearance and the propagation to the pole of three substorm activations), which is appeared both in the magnetic data and in the all sky camera images.

This study was supported by the RFBR (project №20-55-18003) and National Science Fund of Bulgaria (NSFB) (project number KP-06-Russia/15).

## **2.14 High-frequency secular geomagnetic variations according to data from the Mikhnevo, Belsk and Borok observatories**

*Riabova S.A.*

*Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences*

Secular (high-frequency) variation is usually called changes in the elements of the geomagnetic field in time, caused by processes in the earth's core. The secular variations of the geomagnetic field are not only slowly changing, but also the slopes to short-term jumps (geomagnetic jerks).

This communication presents the results of the analysis of the features of the secular variation of the Earth's magnetic field according to the data of registration of the geomagnetic field at the mid-latitude Mikhnevo, Belsk and Borok observatories. In the course of these studies, the trend components of the components of the Earth's magnetic field have been calculated and analyzed. A comparative analysis of the values of the geomagnetic field components, obtained during instrumental observations at observatories and calculated using the IGRF / DGRF 13 version, is performed. Based on linear

regression with switching points, geomagnetic jerks were identified based on the data of geomagnetic field registration at the mid-latitude Mikhnevo, Belsk and Borok observatories.

## 2.15 Investigation of acoustic fields in the Arctic zone under uneven ice cover

*Korochentsev V.I.<sup>1</sup>, Petrosyants V.V.<sup>1</sup>, Gorovoy S.V.<sup>1</sup>,  
Zhu Jianjun<sup>2</sup>, Lobova T.Zh.<sup>1</sup>, Shpak Yu.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Far Eastern Federal University, Russia*

<sup>2</sup> *Harbin Engineering University, China*

Mathematical model for elastic wave propagation in an ice cover with uneven relief (hummocks) have been developed. The theoretical model is based on the application of directed Green's functions.

Acoustic fields have been mathematically modeled in a wide frequency range from 10 kHz to 100 kHz in the Arctic zone with uneven ice cover. The experiments were carried out when an antenna was fused into ice with hummocks of the height up to several meters.

We have made experimental investigations applying radiating hydroacoustic antennas which we developed on the basis of pneumatic and electro-acoustic pulse radiator.

Numerical results have been obtained for different distances between radiating and receiving antennas located inside an ice layer and in water medium.

It has been shown that maximum signal amplification occurs when radiating and receiving systems are arranged inside hummocks.

Methods for optimization of antenna arrangement, when ice fields are uneven, have been suggested.

## 2.16 Investigation of electromagnetic fields in the Arctic zone under uneven ice cover

*Korochentsev V.I.<sup>1</sup>, Wei Xue<sup>2</sup>, Chernenko V.A.<sup>1</sup>, Em A.A.<sup>1</sup>,  
Tagaev T.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Far Eastern Federal University, Russia*

<sup>2</sup> *Harbin Engineering University, China*

We have developed mathematical models for spatial amplitude distribution of electromagnetic wave source located near uneven surfaces and inside an ice cover. The models are based on the theory of directed Green's functions with inhomogeneous boundary conditions with respect to the angular coordinate

We have numerically investigated electromagnetic waves propagating near an ice cover with hummocks of different height inside an ice flat layer at the depth of 0.2 m.

The experiments, applying half-wave vibrators from 30 to 40 meters long as antennas, have been carried out. The vibrators were fused into ice at the depth of about 0.2 m at the frequencies in the range from 10 MHz to 30 MHz.

The results of experimental investigations on the dependence of electric field strength amplitudes on the distances between signal sources and receivers are described.

## 2.17 Investigation of the dynamic modes of the Selkov fractional oscillator in the simulation of microseisms

*Parovik R.I.<sup>1</sup>, Rakhmonov Z.R.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Institute for Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,  
Uzbekistan*

The dynamic Selkov system, taking into account heredity, can be used to describe the mechanism of interaction between small seed cracks and larger microseismic cracks. When the critical number is reached, more seed cracks transform into microseisms, which then lose

their energy and, for the most part, again become smaller cracks. This process is repeated and has a self-oscillating character. In order for the self-oscillating mode to exist, we need to know what parameter values must be chosen for this. This is due to the fact that the Selkov dynamic system can have chaotic regimes. Therefore, the work investigates the dynamic modes of the hereditary oscillatory system of Selkov by constructing the spectra of the maximum Lyapunov exponents from the parameters of the mathematical model. Areas of parameter variation are shown for which both chaotic and regular regimes exist.

## 2.18 Magnetism supersubstorms as one of the strongest features of space weather

*Despirak I.V.<sup>1</sup>, Kleimenova N.G.<sup>2</sup>, Lubchich A.A.<sup>1</sup>, Guineva V.<sup>3</sup>, Setsko P.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup> *Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia*

<sup>3</sup> *Space Research and Technology Institute, BAS, Stara Zagora Department, Bulgaria*

Supersubstorms (SSS) were recently distinguished as extremely intense disturbances with large negative values of the SML index ( $< -2500$  nT). Before this time, there were considered main aspects of SSSs: solar wind and IMF conditions for their appearance; the dependence of SSS occurrence on large-scale solar wind structures, on the magnetic storms; the relationships between SSSs and PC-index of the polar cap, field aligned currents (FAC), geomagnetic induced currents (GIC). These facts confirm that supersubstorms are one of the important phenomena of the space weather. The initial studies of auroral disturbances during SSS events showed that the development of aurora is nonstandard, intense aurora were registered in the premidnight and morning sectors of MLT. The spatio-temporal development of the electrojets have some specific features: the westward electrojet developed on a global scale by the longitude; the intense eastward electrojet occurred at the dusk side. The main features of supersubstorms and considered some examples are discussed. This study was supported by the RFBR (project number 20-55-18003) and NSFB (project KP-06-Russia/15).

## **2.19 Manifestation of falls of cosmic bodies in the atmosphere in geomagnetic variations**

*Riabova S.A.*

*Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy  
of Sciences*

Recently, considerable attention has been paid to the problem of the asteroid-cometary threat. In view of the uniqueness of the event and the significance of the consequences, a topical problem is a detailed and comprehensive study of the effects of each large cosmic body falling to the Earth. This report considers geomagnetic anomalies during the fall of several cosmic bodies. The initial data are the results of registration of three components of the Earth's magnetic field at the observatories of the Intermagnet International Network and at the Mikhnevo Geophysical Observatory of Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences.

## **2.20 Method of noise detection in magnetic data based on wavelet-transformation and adaptive thresholds**

*Papsheva S.Yu., Mandrikova O.V., Khomutov S.Yu.*

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

A method for detecting interference in geomagnetic data is proposed, based on the combined use of continuous wavelet-transformation and adaptive threshold functions. It is shown that the method makes it possible to distinguish short-period features of various shapes and durations in the magnetic signal, which are characteristic of the periods of noises. Variations of the introduced measure of the intensity of the magnetic background in "quiet" periods for 2010–2016 are studied, the analysis of unidentified noises is carried out. The results of the study showed the high efficiency of the proposed method for detecting noises of natural origin. The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 2.21 Mid-latitude effects of supersubstorms during storms: a case study

*Lubchich A.A.<sup>1</sup>, Despirak I.V.<sup>1</sup>, Kleimenova N.G.<sup>2</sup>, Setsko P.V.<sup>1</sup>,  
Guineva V.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia*

<sup>2</sup> *Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia*

<sup>3</sup> *Space Research and Technology Institute, BAS, Stara Zagora  
Department, Bulgaria*

The aim of this work is to find possible mid-latitudes magnetic effects of supersubstorms (SSS) which were recently determined as very intense substorms with large negative values of SML index ( $< -2000$  nT). We analyzed one intense substorms on 20 December 2015 at 16:05 UT during the magnetic storm, which was caused by magnetic cloud (MC). The ground-based mid- and low-latitudes substorms have been studied by the global magnetometer networks SuperMAG, INTERMAGNET and IMAGE data as the positive magnetic bays observed simultaneously with the negative bays at auroral latitudes. The SSS demonstrated the global development at auroral latitudes: the strongest disturbances were registered over Alaska, in the morning sector; but the westward electrojet was observed from the dusk side (IMAGE stations) to the dawn side (Alaska stations). Besides, SSS was accompanied by positive intensity bays at the subauroral latitudes (OUJ-TAR stations), but there were no significant positive magnetic bays at middle latitudes (PAG, SUA, IRT, NVS, PET stations). Moreover, we obtained the auroral oval location for this event using data from NOAA(POES) satellites. It was shown that the conversion latitude of the magnetic bay sign of the magnetic bay was about 7 CGLAT lower than the ones associated with usual substorms. The longitudinal expansion of the positive magnetic bays was much larger in case of the SSS. This study was supported by the RFBR (project number 20-55-18003) and NSFB (project KP-06-Russia/15).

## 2.22 Monitoring of ionosphere and magnetosphere plasma and high energy charge particle fluxes in multi-satellite measurements in wide range of altitudes

*Osedlo V.I.<sup>1</sup>, Abanin O.I.<sup>1</sup>, Vlasova N.A.<sup>1</sup>, Kalegaev V.V.<sup>1</sup>,  
Pavlov N.N.<sup>1</sup>, Petrov V.L.<sup>1</sup>, Podzolko M.V.<sup>1</sup>, Rubinstein I.A.<sup>1</sup>,  
Svertilov S.I.<sup>1,2</sup>, Tulupov V.I.<sup>1</sup>, Shemukhin A.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobel'syn Institute  
of Nuclear Physics*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University, Physics Department*

Near-Earth space (NES) contains charged particles of ionospheric and magnetospheric plasma, fluxes of energetic particles of the Earth's radiation belts (ERB), solar and galactic cosmic rays (SCR and GCR) in a wide range of energies. They can lead to damage and failure of electronic equipment installed on spacecraft (SC), can cause disruption of short-wave communications in high-latitude regions, lead to failures in navigation systems, and reduce the accuracy of global navigation and positioning systems.

Within the framework of multi-satellite measurements on spacecraft launched into orbits with a wide range of altitudes (Meteor — 830 km, Arktika — an elliptical orbit with apogee and perigee heights of ~39 thousands km and ~600 km, Electro — geostationary in the plane equator — 36 thousands km), for several years at the Skobel'syn Institute of Nuclear Physics of Moscow State University, monitor observations of ionospheric and magnetospheric plasma and energetic electron and proton fluxes have been carried out and continue (spacecraft “Arktika-M” №1). The picture becomes more complete with the involvement of information from identical measuring instruments. Such an instrument, developed and manufactured at the Skobel'syn Institute of Nuclear Physics of Moscow State University, is a space radiation spectrometer SKIF for measuring fluxes, energy spectra, temporal variations and angular distribution of ERB protons and electrons, SCR particles from solar flares under their combined effect.

The SKIF instrument provides measurements of the proton and electron spectra in the energy ranges of 2–160 MeV, 0.15–10 MeV, respectively (energetic radiation spectrometer, i.e. SER module

of the SKIF instrument), as well as measurements of the low-energy electron and proton spectra in the energy range 0.05–20 keV (electrostatic analyzers electrons and protons AEP, i.e. modules SGMTE-E and SGMTE-P). The SER module logic forms several energy intervals for particles of each type: 6 intervals for electrons and 12 for protons. The entire recorded energy range 0.05–20 keV AEP of both electrons and protons is divided into 12 intervals. A wealth of experimental material has been accumulated and continues to multiply.

Obtaining a large volume of regular monitoring data on the radiation situation in the NES on the basis of multi-tiered measurements allows studying its short- and medium-term dynamics, its relationship with solar activity, is a necessary condition for refining empirical and for creating prognostic dynamic models of space weather, for formation a three-dimensional real time dynamic picture of radiation distribution in the ionosphere and the inner magnetosphere.

## **2.23 Is the global MHD modeling of the magnetosphere adequate for the prediction of geomagnetically induced currents?**

*Kozyreva O.V.<sup>1,2</sup>, Pilipenko V.A.<sup>1,2</sup>, Sakharov Ya.A.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> *Geophysical Center, Moscow*

<sup>2</sup> *Institute of Physics of the Earth, Moscow*

<sup>3</sup> *Polar Geophysical Institute, Apatity*

The goal of the ULF wave modeling challenge campaign for 27–28 May 2017 storm involves running various global MHD simulation codes with realistic solar wind driving conditions, and then comparing the resulting global ULF wave properties with actual observations. During the magnetic storm on May 27–28, 2017 the magnetic disturbance gradually increased and then slowly decayed. However, during the maximal disturbance magnetic field variations became more chaotic. During this period intense irregular Pi3 pulsations were superposed on the magnetic bay. These pulsations are not quasi-sinusoidal waves like typical Pc5 pulsations; but they

are rather quasi-periodic sequence of magnetic impulses with time scales  $\sim 10\text{--}15$  min. During this period with elevated Pi3 activity very high values of GIC were recorded (up to  $\sim 50$  Amperes per node) in the electric power transmission line at the Kola Peninsula. Here we consider the contribution of geomagnetic disturbances to the rapid growth of GIC during the 27–28 May 2017 strong geomagnetic storm and examine a feasibility of MHD global simulation to predict the occurrence of Pi3 pulsations, and consequently GICs. Such comparison has proved that the magnetic field variability predicted by MHD modeling is more than order of magnitude less than that observed. The current MHD model can successfully predict the response of the magnetosphere to the interplanetary shocks and large-scale variations of IMF and solar wind during magnetic storms. However, such modeling failed to reproduce the small-scale features of magnetic storm/substorm — Pi3 pulsations. Therefore, the variability of geomagnetic field predicted by MHD modeling turn out to be more than order of magnitude less than observed one. Thus, so far MHD models are inadequate for the GIC burst prediction. The study is supported by the grant 21-77-30010 from the Russian Science Foundation.

## 2.24 Monitoring of physical processes in upper atmosphere, ionosphere and magnetosphere in “Ionosphere” space mission

*Svertilov S.I.*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, D.V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University, Physics Department*

The main scientific objectives of the “Ionosphere” space mission for monitoring physical processes in the Earth upper atmosphere, ionosphere and magnetosphere, as well as solar activity are considered.

Within the framework of the “Ionosphere” project, it is planned to launch four spacecraft into near-earth orbit with a set of instruments to monitor the environmental helio-geophysical parameters in the upper atmosphere, ionosphere and near-earth space. Spacecraft “Ionosphere” should operate in a near-circular sun-synchronous orbit in two orbital

planes (2 spacecraft in each plane). The spacecraft in each plane should be separated by an angle of  $180 \pm .30^\circ$ . Orbital parameters of the first pair of spacecraft: altitude  $\sim 820$  km; orbital period  $\sim 101$  min; inclination  $\sim 98^\circ$ ; eccentricity  $\sim 0.001$ ; the position of the orbital plane relative to the mean Sun right ascension  $\sim 135^\circ$ ; the local time of the orbital ascending node is  $\sim 21$  h. The orbital parameters of the second pair of spacecraft differ in the position of the orbital plane relative to the mean Sun right ascension —  $\sim 46^\circ$  and the local time of the orbital ascending node —  $\sim 15$  h. The launch of the first pair of spacecraft is planned in early 2022, the second pair — late 2022 or early 2023.

Scientific equipment includes instruments for radio tomography of the upper atmosphere and ionosphere — an ionosonde for the range 0.1–20 MHz with a 137 MHz transmitter, a dual-frequency (150, 400 MHz) transmitter, instruments for monitoring the magnetic-wave situation, a low-frequency wave complex, electric and magnetic field sensors, detectors of a hot magnetospheric plasma (electrons and protons with energies 0.1–20.0 keV) and charged high-energy particles (electrons 0.15–10.0 MeV, protons 2–160 MeV), as well as a hard X-ray and gamma ray spectrometer (0.2–10.0 MeV), a detector of galactic cosmic rays, GPS total electron content meter, ionospheric plasma energy spectrometer and ozonometer. The last two instruments will be installed only in the second pair of spacecraft.

Thus, in case of successful implementation of the program of experiments on the “Ionosphere” spacecraft, control of the physical parameters of electromagnetic fields and corpuscular radiation in the near-Earth space will be provided, new information will be obtained on the geophysical processes occurring in the magnetosphere, ionosphere and upper atmosphere in their connection with solar activity. In turn, this will make it possible to draw conclusions about the possible impacts of these processes on the environment, including land, sea, air and orbital vehicles and systems.

## 2.25 Observations of atmospheric noise in the West Bering Sea zone

*Sivokon V.P.*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Kamchatka State Technical University*

The stability of radio communications in the decameter range depends significantly on the geo-physical situation, including the level of atmospheric interference. Information on the properties of atmospheric interference, as applied to telecommunications systems, is contained in the recommendations of the International Telecommunication Union. They give the expected values of atmospheric radio noise at a frequency of 1 MHz, and for the remaining frequencies it is proposed to recalculate under the assumption that the distribution of the amplitudes of atmospheric interference follows a logarithmically normal law. Based on the prospects for the development of navigation by the Northern Sea Route, the features of the propagation of decameter waves in the circumpolar latitudes, we attempted to conduct real measurements of atmospheric interference in the West Bering Sea zone. It is not possible to use the radio equipment of ships for such measurements, but with the advent of SDR technology, this possibility has appeared. The measurements were carried out along the coast of Kamchatka and allowed us to estimate the variations in the parameters of atmospheric noise.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 2.26 On the synchronicity of the characteristics of magnetic moment changes and movements of the magnetic pole according to INTERMAGNET magnetic observatories

*Semakov N.N.<sup>1,2</sup>, Kovalev A.A.<sup>1</sup>, Pavlov A.F.<sup>1,2</sup>, Fedotova O.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *IPGG SBRAS*

<sup>2</sup> *Novosibirsk State University*

The authors analyze two types of synchronicity of integral magnetic characteristics: purely temporal and space-time. The degree of purely temporal correlation (or anti-correlation) of integral angular and power characteristics was assessed for each magnetic observatory on the speed curves of the calculation magnetic pole, as well as on the change of magnetic moment (at the constant distance to the equivalent dipole) or by changing the distance to the equivalent dipole (with the permanence of its magnetic moment). Data from several magnetic observatories that are part of INTERMAGNET and located in different regions were used in assessing the space-time correlation of the above characteristics. A moving average with 24 hour window with a 1 minute step was used to identify the space-time features of the magnetic field, which are not related to the Earth's daily rotation. With this approach, 4 to 7 significant magnetic events per month were detected during the analyzed period. To test the possible connection of such events in the magnetic field with changes in the tense state of the Earth's crust, it is necessary to use such moving average with 24 hour window seismic characteristics of this region.

## 2.27 Operation of a multi-frequency parametric side-scan sonar in ice waveguide

*Tarasov S.P.<sup>1</sup>, Zhu Jianjun<sup>2</sup>, Pivnev P.P.<sup>1</sup>, Voronin V.A.<sup>1</sup>, Korochentsev V.I.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Southern Federal University, Russia*

<sup>2</sup> *Institute of hydroacoustics HIU, China*

<sup>3</sup> *Far Eastern Federal University, Russia*

Practical application of hydroacoustic systems, operating in traditional mode to solve the acoustic communication system tasks, to search for mineral deposits, to solve engineering problems and

the monitoring tasks of the World Ocean ecological state, has some significant restrictions. These restrictions are mainly associated with the state of the offshore zones where such works are carried out. It is possible to solve such tasks applying parametric radiating antennas in hydroacoustic systems.

One of the tools for investigation of the bottom configuration and sediments is the side-scan sonar. It allows us to improve significantly the surveying efficiency due to the wide band of space under investigation. In order to make the investigations with a parametric side-scan sonar, we developed a parametric radiating antenna with a broad directional characteristic in the vertical plane and a narrow one in the horizontal one.

To improve the efficiency of the transition of pumping wave energy into difference-frequency wave energy, we suggested to use wave interaction in a multi-component pumping signal. The broad directional characteristic of the parametric side-scan sonar in the vertical plane during its operation in a waveguide may cover some region of a surface due to the side lobes of the stacked-beam pumping antenna. In this case, both pumping waves and difference-frequency waves are reflected from the surface. The effect of joint reflection of these waves on reflected difference-frequency wave field is considered.

## **2.28 Registration of synchronous geomagnetic pulsations and proton aurora during the substorm on March 1, 2017**

*Varlamov I.I.<sup>1,2</sup>, Parnikov S.G.<sup>2</sup>, Ievenko I.B.<sup>2</sup>, Baishev D.G.<sup>2</sup>, Shiokawa K.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education M. K. Ammosov North-Eastern Federal University*

*<sup>2</sup> Federal Research Centre The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yu.G.Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS*

*<sup>3</sup> Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University*

Data of synchronous geomagnetic pulsations and proton aurora registrations were analyzed during the substorm period on March 1, 2017 at Zhigansk (L=4.5, induction magnetometer),

Maimaga (L=4, all-sky camera) and Yakutsk (L = 3.3, induction magnetometer) stations, simultaneously with satellite measurement of EMIC waves. Ground-based registration of proton aurora is very difficult due to the fact that their intensity is much lower than the aurora intensity caused by precipitations of electrons, but in the event of substorm activity at the zenith of Maimaga station, a narrow (1° in latitude) proton arc was observed. Irregular pulsations of the diminishing periods (IPDPs) in the range of Pc1 geomagnetic pulsations associated with the injection of energetic protons were recorded simultaneously at Zhigansk and Yakutsk stations. It is shown that the proton arc and geomagnetic pulsations are a consequence of ion-cyclotron instability in the area of the outer plasmasphere overlapping by energetic protons.

This work was carried out with the financial support of the RFBR grant №21-55-50013.

## 2.29 Seasonal variations in natural potentials in the permafrost 2016–2021, Yakutsk

*Kozlov V.I., Baishev D.G., Pavlov E.A.*

*Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy,  
YaSC SB RAS*

Two pairs of 100 m measuring lines capture a heterogeneity, a swampy area (swamp). The location of the sensors of the second pair is shifted by 1 m. The third pair is located completely on a dry area. Variations of potentials on the line on a dry section correlate with variations on a section containing pigweed (2016–2021), but their value is less by about 10 times. In the spring from 04–17.04 to 11–27.04 on pairs of lines with gauze, there is a sharp change in potentials by 55–90 mV, then a change in the opposite up to 20.05 by 170 mV. Until mid-July, a plateau is observed and then a sharp change towards negative potentials by 50 mV. Further, until the end of October, an autumn plateau is observed. In mid-November, there is a sharp rise to winter values. A plateau is observed in winter. Let us compare the variations in natural potentials between the sensors in the center and on the edge of the pigweed and in a completely dry section, located at a distance of 140 m from the first one. The seasonal range of potentials on the line at the pigweed is 350 mV. A sharp jump

from the value of stable winter values 01.04–11.04 to 150 mV / 70 m is associated with snow melting. Further, an even sharper jump in the opposite direction up to -200 mV / 70 m until 22.05. Further, there is an exponential summer change up to -10 mV / 70 m until 01.11. In November, there is a gradual restructuring to a stable winter level of 22 mV / 70 m. On a dry site, a qualitatively similar picture is observed. The span alone is 63 mV / 140 m and the stable winter level is -0.9 to 2 mV / 140 m. According to winter observations, there is a long-term variation with a period of about 4 years. There are sharp outbursts of natural potentials during rainy days.

The work was carried out with the financial support of Min. education and science of the Russian Federation, budgetary topic, AAAA-A21-121012000007-4.

## 2.30 Seismic process of the Bishkek geodynamic proving ground (Northern Tien-Shan)

*Sycheva N.A., Sychev V.N.*

*Science research station of the RAS in Bishkek city*

Various characteristics of the seismicity of the Bishkek geodynamic proving ground (BGP) are considered. The BGP refers to the territory that lies within the central segment of the North Tien Shan seismogenic zone and represents the junction zone of the Tien Shan orogen and the Turan plate. The main tectonic structures of the study area at the neotectonic stage are the Kyrgyz meganticline (Kyrgyz ridge) and the Chuya depression located to the north. To the south of the Kyrgyz ridge are the Suusamyr, Kochkor and Jungal depressions, separated by small ridges. To the west are the Talas, Bolshoi and Maly Karatau ridges, and to the east — the Kungei-Alatau and Terskey-Alatau ridges with the Issyk-Kul intermountain depression separating them. The stations of the seismological network KNET are located on the territory of the BGP, which makes it possible to maximally record the seismic events occurring in this territory. To date, the earthquake catalog contains the parameters of more than 10500 events that occurred from 1994 to 2020. The paper presents various statistical characteristics of the earthquake catalog: the level of errors, the number of registered phases (P- and S-waves), distributions in magnitude,

time, depth. To describe the function of distributing earthquakes by energy, the Gutenberg-Richter law was used. A representative sample was determined, both for the catalog and for individual segments of the territory under consideration. The distributions of  $b$ -value in space and in time are plotted. The spatial distribution of the number of earthquakes and the intensity of seismotectonic deformation in the study area is presented.

### **2.31 Simultaneous lithospheric-atmospheric signals of acoustic emission at “Karymshina” site in Kamchatka**

*Larionov I.A., Marapulets Yu.V., Mishchenko M.A.*

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

We present the results of complex lithospheric-atmospheric investigations of acoustic emission in a seismically active region (Kamchatka peninsula). A laser strainmeter-interferometer, a hydrophone, a wide-band acoustic system and a microbarometer, installed at Karymshina site (IKIR FEB RAS), are used in the monitoring. Rock deformation, acoustic emission in the near-surface rocks and in the atmosphere by the ground surface are under the consideration. Moreover, we suggest a method to detect acoustic signals recorded simultaneously in the near-surface rocks and in the atmosphere by the ground surface. The method includes filtration of acoustic signals from the sensors at different frequency sub-ranges from fractions to the first hundreds of hertz and further analysis of acoustic pressure absolute values. We analyze the data from September 2016 to December 2020. Examples of simultaneous records of acoustic signals in rocks and in the atmosphere are illustrated. The investigation is topical for the construction of a model of lithosphere-atmosphere interaction in a seismically active region.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 2.32 Source parameters of earthquakes of the Bishkek geodynamic proving (Northern Tien-Shan)

*Sycheva N.A.*

*Science research station of the RAS in Bishkek city*

On the basis of seismic waves, various source parameters of earthquakes are calculated, which are usually divided into kinematic and dynamic. The mechanism of excitation of seismic waves by an earthquake source is associated in modern seismology with a sudden movement of rocks along a certain surface of weakened strength. The source model (focal mechanism), presented in three-dimensional form, characterizes the orientation of the axes of the main relieved stresses and the position of the nodal displacement planes along the rupture in the seismic source and is indirectly related to tectonic stresses. The focal mechanism, therefore, refers to the kinematic characteristic of the source. The dynamic characteristics of seismic waves make it possible to determine such source parameters of earthquakes as the source radius, scalar seismic moment, stress drop, and others, which are referred to as dynamic parameters. Kinematic and dynamic parameters of earthquakes characterize the seismic process. The paper presents the characteristics of focal mechanisms (1674 events) that occurred on the territory of the Northern Tien Shan, as well as the dynamic parameters of 183 earthquakes in the Northern Tien Shan: source radius, scalar seismic moment, stress drop. The data obtained can be used to assess the seismic process and the stress-strain state of the earth's crust in the study area.

## 2.33 Space weather and earthquakes: An overview of the problem and future research

*Novikov V.A.<sup>1</sup>, Zeren Z.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Joint Institute for High Temperatures, Russian Academy of Sciences*

<sup>2</sup> *Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration*

The state-of-the-art research of possible interrelation of space weather with the earthquake source is discussed. The results obtained recently demonstrated again, in spite of certain skepticism, that this interrelation may be used for seismic hazard mitigation. Both impacts of the earthquake source on ionosphere, as well as impacts of space weather on deformation processes in the Earth crust resulted in earthquake triggering are considered.

Based on the results obtained to-date the Russian-Chinese cooperation project “Space weather and earthquakes” has been launched this year. The project is directed to further study of interconnection of processes in the “ionosphere–atmosphere–lithosphere” system in the seismic-prone regions for solving the problem of seismic hazard mitigation relevant for Russia and China. The specific objectives of the project are to refine existing models of the relationship between the earthquake source and space weather parameters based on data of space monitoring by Chinese satellite CSES-1, as well as to analyze the degree of an influence of variations of the space weather parameters on deformation processes in the earthquake source and the possibility of triggering the seismic events by strong ionospheric disturbances. The scientific novelty of the project is to obtain new results on possible ionospheric precursors of strong earthquakes according to new data from the CSES-1 satellite and their theoretical justification, as well as the physical justification (or rejection) of the possibility of earthquake triggering by strong bursts of geomagnetically induced currents in conducting seismogenic faults of the Earth crust during severe space weather.

The project provides for an analysis of satellite observations over the seismic-prone regions of Russia and China, the refinement of the model of ionospheric-lithospheric relations, a numerical analysis of induction of telluric currents in the conducting zones of the Earth crust (faults) by strong geomagnetic disturbances and their effect on deformation processes in the earthquake sources. Physical modeling will be performed at laboratory set-ups for studies of the process

of generating telluric currents and their concentration in the conducting model fault, the laboratory “earthquake” triggering by electric pulses at spring-block models of seismogenic fault, as well as the process of rock failure under electromagnetic impact. The results of the project will have a fundamental importance in terms of understanding the relationship between space weather and Earth seismicity and can be used in future technologies of the short-term earthquake prediction.

The first results of the statistical analysis of the impact of space weather on the parameters of repeating earthquakes observed in China, Russia, Japan, and the USA are presented. It is shown that electromagnetic impact from space on the lithosphere resulted in shortening the recurrence interval of the repeating earthquakes similar to dynamic impact of remote strong earthquakes.

The reported study was funded by RFBR, project number 21-55-53053 and NSFC, project number 4201101274.

## **2.34 Start-time of SSC as a function of Universal Time and geographic coordinates for several geoeffective ICMEs**

*Zagainova Iu. S., Gromov S.V., Gromova L.I.*

*IZMIRAN*

Interaction of interplanetary coronal mass ejections (ICME) accompanied by interplanetary shock waves (ISW) with the Earth’s magnetosphere results to a change in the Earth’s magnetic field. It effectively is reflected in sharp increases of the geomagnetic field intensity, which in some cases can lead to the development of magnetic storm with sudden commencement (SSC). ISW-front direction, as well as, ISW-speed and the dynamic pressure of the solar wind, can affect the maximum intensity and rise time of SSC. To estimate the ISW-front direction we used information about start time of SSC of several ICMEs with ISW, whose formation area sources were located in the Northern and Southern Sun hemisphere. The start times of SSC were taken from the IAGA catalog. The sudden impulses (SI) arisen from the interaction of the ICMEs with the Earth’s magnetosphere. We determined the start times of the SSCs of the ICMEs using INTERMAGNET network data with a temporal resolution of 1 second.

SSC-start estimate as a function of Universal Time and geographic coordinates for the ICMEs was carried out. It is shown that as the ICME arrive to the Earth the SSC is determined in different time on different ground magnetic observatories separated in latitude and in longitude. SSC start time on the data of magnetic observatories located at different latitudes differs by tens of seconds. In most of the events reviewed, SSC is determined firstly at the magnetic observatories located of the Earth's hemisphere illuminated by the Sun. And also, on average, the SSC was determined a little earlier at observatories located at lower latitudes than at high latitudes. The work was carried out within the framework of State order №01200953488 and supported by RFBR grant №20-02-00150.

### **2.35 Study of acoustic emission signals registered at “Karymshina” observation point in 2017 (Kamchatka region)**

*Lukovenkova O.O., Solodchuk A.A., Shcherbina A.O.*

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

The paper proposes a method for three-dimensional visualization of the frequency structure of geoacoustic emission pulse flow. Using this method, the signal structure dynamics is estimated at different time periods (from a few minutes to a year).

An adaptive threshold scheme is used to detect pulses from a signal, and an adaptive matching pursuit is used to estimate the filling frequency of single pulses. Distributions of frequencies obtained in this way are estimated by the histogram method. Histograms are plotted according to data obtained for geoacoustic signal fragments of a given minimum duration. The histograms are combined into a three-dimensional representation as follows: the observation time is plotted along the horizontal axis, the pulse filling frequency is plotted along the vertical axis, the percentage of pulses with the corresponding frequency is indicated by color. This approach can be used to search for preseismic anomalies in geophysical pulse signals.

The proposed method was used to assess the dynamics of the structure of the geoacoustic emission signal recorded at “Karymshina” observation point in the period from 01.01.2017

to 31.12.2017. The results of comparison of the obtained three-dimensional representation with Kamchatka earthquakes are presented.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## 2.36 Synchronicity of underground electric variations, observed at stations in the cities of Gorno-Altai and Chieti (Italy)

*Bobrovsky V.S.<sup>1</sup>, Shitov A.V.<sup>2</sup>, Stoppa F.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Cosmetecor; Politecnico di Milano, Italy*

<sup>2</sup> *Gorno-Altai State University, Russia*

<sup>3</sup> *University G. d Annunzio of Chieti Pescara, Chieti, Italy*

Within the framework of the concept of the electric grid-nature of tectonic activity, it is assumed that non-stationary processes occur in the electric grids of the Earth's interior, which can manifest themselves with varying intensity in any part of the earth's crust, where proton fluxes from the earth's core approach the surface. Non-stationary electrical processes in the depths were investigated using measuring lines, at the ends of which were lead electrodes, buried in pits to a depth of a few meters.

Three pits of station № 5 (C5) of the Innovative Youth Fund (IMF) "Underground Electrical Technologies" (UET), whose coordinates are 51°57'38.77" N and 85°58'17.54" E, are located in the city of Gorno-Altai (Republic of Altai, Russia), ~ 150 meters from the stream flowing along the valley of the Maima River and at a distance of ~ 8 km to the confluence of the stream and the Maima.

Three pits of station № 6 (C6-IMFPET), whose coordinates are 42°22'5.59" N and 14° 8'50.66" E, are located in the city of Chieti (province of Abruzzo, Italy), on a hillside ~ 1.5 km from the river, current from Kieti 13 km to the place where it flows into the Adriatic Sea.

Automatic measurements are carried out using the LCARD-E-14-140M multichannel voltage transducer. The LCARD-E-14-140M module was designed, developed and manufactured by Lcard LLC [<http://lcard.ru>]. The voltage converter is designed for every second measurement of direct and alternating currents (0...7 kHz) of underground EMF, observed in the form

of non-stationary processes occurring at the boundary of the lithosphere-atmosphere.

Analysis of the data showed that in the period 2013/01/23–29, there was a synchronization of underground-electrical (UE) variations on C5-IMFPET-ALTAI and C6-IMFPET-ITALY.

Analysis of the set of heliogeophysical data revealed a geomagnetic disturbance of 4 points, which began almost synchronously with the PE variation. This fact once again confirmed the global character of the UE variations.

### **2.37 The modes of magnetic field generation in a low-mode model of $\alpha\Omega$ -dynamo with $\alpha$ -generator varying intensity regulated by a function with an alternating kernel**

*Sheremetyeva O.V.<sup>1</sup>, Godomskaya A.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Municipal budgetary institution of supplementary education «Center  
«Luch»», Kamchatskiy Kray, Yelizovo, Russia*

In the framework of the  $\alpha\Omega$ -dynamo model a magnetohydrodynamic system (MHD-system) with an included additive correction of the  $\alpha$ -effect intensity is considered. The variation of the  $\alpha$ -effect intensity with time is determined by the function  $Z(t)$  that alternating kernel  $J(t)$  is characterized by the damping coefficient  $b$  and the frequency  $a$ .

The research of the behavior of the magnetic field is carried out on large time scales, therefore, a rescaled and dimensionless MHD-system with the unit of time equal the time of the magnetic field dissipation ( $10^4$  years) for numerical calculations is used.

The control parameters of the system are the Reynolds number and the amplitude of the  $\alpha$ -effect that include information about the large-scale and turbulent generators, respectively.

Numerical simulation of the magnetic field generation modes was carried out for the values of the damping coefficient  $b = 1$  and frequency  $a = 0.1, 0.5, 1, 5, 10$ . The results of numerical simulation of the modes of magnetic field generation are displayed on the phase planes of the control parameters.

The question of the dynamics of the pattern change on the phase plane depending on the frequency  $a$  is investigated and the comparison with the results obtained for the exponential kernel  $J(t)$  with damping coefficient  $b = 1$  is carried out. The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

## **2.38 The source of bay-like negative anomalies of the atmospheric electric field during the tectono-seismic process**

*Rulenko O.P.*

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS*

The report describes the source of bay-like negative anomalies of the near-ground atmospheric electric field observed in seismically active areas in fine and nearly fine weather. Such anomalies occur prior to moderate and strong local earthquakes as well as without them, which evidently relates them to tectono-seismic process. This is a constant process that causes changes in the stress-strain state of rocks during the background tectonic deformation and during the earthquakes build-up. The author has revealed that these anomalies are caused by a negative space charge, which occurs in the surface air in a certain way. Near-surface rocks stretching results in increased radon and thoron atmospheric emanations. If the air mixing is low under its stable stratification, these emanations accumulate in a certain layer resulting in increased rate of ion formation and known in the atmospheric electricity occurrence of negative space charge of small ions. Radon and thoron atmospheric emanation is a widespread process being an intrinsic part of the “Earth’s gas breathing”, and many researchers have revealed the negative space charge in aseismic areas where the tectonically-induced rate of deformation of rocks is less than that in seismically active areas. The author has studied how each emanation effects the formation of this charge that has deformation-emanation nature. Its occurrence and destruction cause the bay-like shape of negative anomalies of the electric field.

## 2.39 Vector Overhauser magnetometer POS-4: experience and prospects of application

*Khomutov S. Yu.*<sup>1</sup>, *Sapunov V. A.*<sup>2</sup>, *Denisov A. Y.*<sup>2</sup>, *Borodin P. B.*<sup>3</sup>,  
*Kudin D. V.*<sup>4,5</sup>, *Sidorov R. V.*<sup>4</sup>, *Bebnev A. S.*<sup>3</sup>, *Cherepanova T. A.*<sup>3</sup>,  
*Kotikov A. L.*<sup>4,6</sup>, *Kanonidi K. K.*<sup>7</sup>, *Baryshev P. E.*<sup>8</sup>, *Turbin Y. G.*<sup>8</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia*

<sup>3</sup> *Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia*

<sup>4</sup> *Geophysical Center RAS, Moscow, Russia*

<sup>5</sup> *Gorno-Altai State University, Gorno-Altai, Altai Republic,  
Russia*

<sup>6</sup> *St.-Petersburg branch, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism,  
Ionosphere and Radio Wave Propagation of RAS, Saint-Petersburg,  
Russia*

<sup>7</sup> *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio  
Wave Propagation RAS, Moscow, Russia*

<sup>8</sup> *The Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) of the Russian  
Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring,  
Roshydromet, Saint-Petersburg, Russia*

The results of practical use of a POS-4 vector magnetometer, developed by the Research Laboratory of Quantum Magnetometry, UrFU (Ekaterinburg) and based on POS Overhauser sensors, are presented. Continuous measurements by POS-4 have been carried out at the Paratunka observatory (IKIR FEB RAS, Kamchatka) since 2015, were done at the Saint Petersburg observatory (GC RAS / IZMIRAN SPb Branch, Leningrad Region) in 2017–2018 and have been performed at the Arti observatory (Institute of Geophysics, UB RAS, Sverdlovsk Region) since 2020. On the new high-latitude observatory White Sea (GC RAS / MSU, Nikolai Pertsov White Sea Biological Station, Karelia), POS-4 is used as a main variometer for magnetic measurements. In April 2019, the magnetometer was successfully used for field measurements on ice during the TRANSARCTIC expedition in the Barents Sea (AARI, Roshydromet). At the beginning of 2021 IZMIRAN started testing two POS-4 magnetometers at the Moscow observatory. According to the results of field and observatory measurements it was possible to identify the advantages and disadvantages of the magnetometer and provide the information

for its developers for further modernization in order to improve its efficiency and reliability. Many years of experience in POS-4 application determine the areas where its scientific and applied usage will provide important results, for example, for magnetic measurements in the Arctic regions or for monitoring of active zones around volcanoes. This work was partially supported of budgetary projects AAAA-A21-121011290003-0 and funded by the RSF project № 16-17-00121.

## 2.40 Why Earth accelerates its rotation since 2016

*Zotov L.V.<sup>1</sup>, Marchukova O.V.<sup>2</sup>, Bizouard C.<sup>3</sup>, Sidorenkov N.S.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *National Research University Higher School of Economics*

<sup>2</sup> *Institute of natural and technical systems RAS*

<sup>3</sup> *SYRTE Paris observatory*

<sup>4</sup> *Hydrometcenter of Russia*

Year 2020 has been recognized by the scientific climate community as one of the hottest year on record in the last decades. At the same time the anomalous velocity of the Earth rotation has been observed. The length of day LOD reached its minima, which can force to subtract second from the Universal Time Coordinated UTC. It would be interesting to know, why since 2016 the Erath rotation started to accelerate.

The processes in the atmosphere, ocean and Earth's interior, leading to the exchange of angular momentum between the planet systems, as well as tides, changing the figure of the Earth, influence Earth rotation velocity. If tidal and atmospheric processes are mostly related to the annual and subannual variations, interdecadal LOD changes are mostly caused by the processes in the ocean and Earth's interiors.

It was found out that oscillations in the ocean and atmosphere, such as El Nino Southern Oscillation (ENSO), Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) etc. put their fingerprints on the Earth rotation. They are also related with climate. We would like to attract attention to ENSO and alternations of El Nino and La Nina. Strong El Nino of 1972–73, 1997–98, 2015–16 happened almost on the maxima of LOD, after which the transition to acceleration happened. La Nina are usually related to the minima of LOD. Large decadal variations of LOD happen with quasi 20 and 60-year periods, which could be not only related

to magnetic field changes, but also with 18-year precession of the Moon, AMO and variations of the Chandler wobble amplitude.

In our talk we will compare climatic factors, multidecadal processes and angular momentum of the atmosphere and ocean, trying to uncover some regularity of the events mentioned above.

### 3 Physics of earthquake precursors

### **3.1 Abnormal near surface vertical atmospheric electrostatic field signal at several hours before Luanzhou 4.3Ms earthquake**

*Chen T.*

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

There are two stations (Yongqin station and Huairou station) that had observed abnormal near surface vertical atmospheric electrostatic field signal at several hours before Luanzhou 4.3Ms earthquake (Beijing time 16.06, 16 April 2021, 118.71 E, 39.75 N, depth 9 km). The two stations are off the epicenter 181.2 km and 183.7 km from west side. The two station are off each other 150 km. The signal at Yongqin station is typical bay like pattern, but the signal at Huairou station is mixing type pattern that show some passing clouds modulation. It is demonstrated that someone even could perceive the middle magnitude forthcoming earthquake according the progress that exclude the weather factor in the daily atmospheric electrostatic monitoring data in near future.

### **3.2 Application of spaced system of laser interferometers and tiltmeters for sharing the earthquakes precursory events**

*Dubrov M.N.<sup>1</sup>, Volkov V.A.<sup>2</sup>, Larionov I.A.<sup>3</sup>, Mrlina J.<sup>4</sup>, Polak V.<sup>4</sup>, Aleksandrov D.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS, Russia*

<sup>2</sup> *Shmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Russia*

<sup>3</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

<sup>4</sup> *Institute of Geophysics CAS, Czech Republic*

Our previous investigations evidently show that synchronous observation of global atmosphere and lithosphere disturbances by means of precise and spatially distributed instruments is the

effective method of detecting precursors of large seismic events and other dangerous natural phenomena. This study expands the spatial range of our search up to 7,000–9,000 km and allows regional and global disturbances to be shared. The subjects of presented investigations are: 1) analysis of non-tidal strain-baric and tilt-baric processes recorded by system of ground-based laser interferometers within the Moscow Syncline (Obninsk, Fryazino) and Kamchatka together with synchronously operating tiltmeter instruments of deep underground installations in the Bohemian Massif (Skalna, Jezeri, Pribram); 2) search of correlations between laser interferometers data and distant tiltmeters data before strong earthquakes. The goal is to distinguish the local, regional and global variations corresponding to abnormal pre-seismic and co-seismic processes. Our first evaluable experience in this direction was the found statistically significant value of global coupling of strain-baric anomalies detected by means of distant Fryazino – Kamchatka instruments using the Pearson's correlation technique. The other attempt to detect the strain-baric and tilt-baric coupling at the regional level (Obninsk–Jezeri) was based on the comparison of laser strainmeter data in Obninsk with tilts recorded in Jezeri Observatory. This gave the Pearson correlation coefficient  $R=0.92$  which means the strong found correlation. This kind of data processing was applied for time intervals that include the 2015–2020 strong earthquakes.

The work was carried out as part of the implementation of the state task 0030-2019-0014 and AAAA-A21-121011290003-0.

### **3.3 Estimation earthquake occurrence probability in Kamchatka region based on seismological and complex of ionospheric precursors**

*Bogdanov V.V., Pavlov A.V.*

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

In this paper the authors present the method of estimation of a region, waiting period and probability of strong earthquakes with  $K_S \geq 13.5$  ( $M \geq 6.0$ ) in Kamchatka region based on the combination of mid-term and short-term predictive signs

accompanying earthquake formation. The seismological predictive parameter  $\xi_P$  was taken as a mid-term precursor. It was calculated on the basis of the probabilistic model of seismic regime and determines the statistically significant deviations of current probabilities  $P_k(S_i)$  for seismic events with the energy class  $K_S \geq 9.0$  to fall within the zones  $S_i$  from long-term (background) probabilities  $P_T(S_i)$ . The expectance zone for an earthquake with  $K_S \geq 13.5$  was determined as a group of zones  $S_i$ , in which seismic regime anomalies were identified by the parameter  $\xi_P$ . A complex of ionospheric parameters was considered as short-term predictive signs with an earthquake waiting period of up to 5 days. It includes the K-layer, the sporadic Es layer of the r type, the critical frequency foF2, and the frequency stratification of the F2 layer. The probabilities of strong earthquakes with  $K_S \geq 13.5$  ( $M \geq 6.0$ ) that occurred over the period 2019–2021 in an expected zone, determined by the parameter  $\xi_P$ , were estimated on the basis of Bayes method provided that a complex of anomalous parameters of the ionosphere was identified.

The work was carried out as a part of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

### **3.4 Hereditary mathematical Riccati model with delay for studying the dynamics of radon concentration in a storage chamber**

*Tverdyi D.A.*<sup>1,2</sup>, *Parovik R.I.*<sup>2,3</sup>, *Makarov E.O.*<sup>4</sup>, *Firstov P.P.*<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Applied Mathematics and Automation KBSC RAS*

<sup>2</sup> *Vitus Bering Kamchatka State University*

<sup>3</sup> *Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

<sup>4</sup> *Kamchatka Branch, Geophysical Survey, Russian Academy  
of Sciences*

In general, when conducting emanation studies with the aim of searching for earthquake precursors, identifying fault conducting zones of the earth's crust, developing mathematical models of geogas mass transfer, and a number of other cases, a clear understanding of the processes of accumulation of geogas (primarily radon) in the volume of the storage chamber of the device used is required.

The concentration of radon, as well as the time it reaches saturation when it reaches equilibrium with the decay products in the storage chamber, depends on the value of the radon flux density (RFD) from the surface at the place of installation of such a chamber.

Radon monitoring is recognized by many researchers as a promising method for predicting strong earthquakes, especially with a shallow source depth. To reliably identify anomalies in subsoil radon, before strong seismic events, against the background of interference of various nature, a developed network of observation points is required. When organizing monitoring points for subsurface radon (SPR), it is necessary to know the value of SPR from the surface at the selected point where the storage chamber will be installed. All this determines the need for a quick assessment of the SPR by a simple and accessible method.

The article presents a mathematical model based on the Riccati differential equation with the Gerasimov-Caputo fractional differentiation operator and variable fractional order. The model of radon accumulation in the chamber takes into account the hereditary properties of the environment in which radon migrates, and also uses a non-linear function that is responsible for the mechanisms of radon entry into the chamber. The obtained model curves are compared with real data.

It is shown that the hereditary model proposed in the work gives a better agreement between the model and real curves of radon accumulation and can be used for a more accurate description of the processes occurring in the chamber.

Therefore, we can conclude that the introduction of the effect of heredity into the equation gives an additional degree of freedom, which means that it allows more flexible modeling of the process of radon accumulation in the chamber.

Acknowledgments: the work was funded by AAAA-A19-119072290002-9 “Natural disasters in Kamchatka — earthquakes and volcanic eruptions (monitoring, forecast, study, psychological support of the population)” and by RFBR, project № 20-05-00493.

### 3.5 Hydrogeofluid precursors: Relationship with earthquake parameters and conceptual models

*Kopylova G.N., Boldina S.V.*

*Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences*

Hydrogeofluid precursors (pressure, temperature, chemical composition of water, free and dissolved gas) represent anomalous changes in groundwater at the stage of earthquake preparation. The systematization of reliable data on such precursors and the relationship of hydrogeofluid precursors with the parameters of subsequent earthquakes make it possible to assess significance of such precursors in matters of seismic forecasting, study of the strong earthquakes preparation processes and the fluid-saturated medium temporal variability in the seismically active regions.

Using the author's and published data on hydrogeofluid precursors based on the results of long-term observations in wells in seismically active regions of the Kamchatka Peninsula and the world, it is shown that such precursors appear during the first months in the near and middle (intermediate) zones of earthquake sources. This indicates the development of a predominantly aseismic process in the source area of a strong earthquake in form of a slow change in the stress-strain state of the medium, in particular, discontinuous slip along a fault (Lin and Rice, 2005; Rebetsky, 2004, 2005, 2021, etc.). As a result of the development of such a process in the source zone, in the immediate vicinity of the observation wells, the effects of quasi-elastic and inelastic (dilatancy) changes in groundwater pressure, as well as disruption of stationary water exchange between waters with a contrasting chemical composition of water and gas, can occur. The report provides examples of constructing conceptual models of recorded hydrogeofluid precursors for individual observation wells.

### 3.6 Identification of ionospheric earthquake precursors in the Kamchatka region based on correlation analysis

*Bogdanov V.V., Pavlov A.V.*

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

Seismic activity is one of the sources of ionospheric variability. In this work, based on the method [Pulinets et al, 2004], we investigate electron concentration change in the ionosphere, preceding the onset of strong earthquakes with  $M \geq 6.0$  in Kamchatka region. The method is based on calculating the correlation coefficient between the critical frequency foF2 values at two ionospheric stations. One of them is located inside the earthquake preparation zone, and the other is outside it. If observation sites are located in similar geographic conditions, then they will also observe the same ionospheric variations during both calm and disturbed geomagnetic conditions, except for those points that are located in a seismically active zone. Local anomalies in the F2 layer accompanying strong earthquakes preparation should manifest themselves in a decrease in the mutual correlation of the critical frequencies foF2 between the stations located inside and outside the seismic zone. The data obtained at two stations PETROPAVLOVSK (PK553) and EARECKSON (EA653) for the period 01.09.2018–30.04.2021 are considered. Station PK553 with the coordinates (52.97° N, 158.24° E) was located in Kamchatka in the zone of seismic event preparation, and station EA653 (52.73° N, 185.92° E) was considered as a control station. Statistical analysis of the critical frequencies foF2 showed that a noticeable decrease in the correlation coefficient was observed 1–7 days before the earthquakes for 7 out of 14 events with  $M \geq 6.0$  that occurred at depths of up to 100 km and epicentral distances of up to 500 km from the PK553 location. The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

### 3.7 Instruments and methodology for registering subsurface gases in Kamchatka and Sakhalin for the purpose of predicting earthquakes

*Makarov E.O.*<sup>1</sup>, *Firstov P.P.*<sup>1</sup>, *Kostylev D.V.*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Kamchatka Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences*

<sup>2</sup> *Sakhalin Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences*

On the Kamchatka Peninsula, since 2000, a network of monitoring points for subsurface radon (SR) has been operating in order to search for precursors of strong earthquakes. Long-term analysis of the PR dynamics in matching with the seismicity of the region suggests that there is a certain relationship between radon variations and strong earthquakes.

During the network operation, the instrument base has been continuously modernized. At the first stage, the network operated using REVAR radiometers, which were based on the principle of passive registration of the decay products of Rn by beta-radiation. The increasing requirements for the reliability of the network, the efficiency of data processing, the expansion of the network of points and the increase in the number of recorded parameters (atmospheric temperature and pressure, carbon dioxide, molecular hydrogen) required the replacement of obsolete REVAR radiometers. For this purpose, an instrumental complex was developed and put into operation for recording the concentration of subsurface gases, the basis of which is a modern German-made ALMEMO data logger.

The Russian-made RADEX MR107 digital radiometer, which has appeared on the market, potentially makes it possible to organize a more efficient registration of SR by the forced convection method. In this case, the radiometer is placed in a sealed container with an excess volume, which acts as a storage chamber, and the subsoil air from a closed borehole 0.5–2.5 m deep is continuously pumped out by a compressor and enters this container. By establishing equilibrium of radon with decay products in the storage chamber, the sensitivity of the radiometer increases. Also, due to the continuous selection of subsoil air from a large volume of soil, the influence on the measurement results of meteorological parameters is reduced. The joint work in the same storage chamber of a beta-radiation sensor with a REVAR radiometer and an MR107 radiometer demonstrates

qualitatively similar radon variations, which allows metrological analysis to be performed. The equipment at some points in Kamchatka was replaced by complexes for registering subsoil radon using the forced convection method. The same complexes formed the basis for a network of subsoil radon registration points created and operating in a test mode on the Sakhalin island.

In order to provide metrologically reliable data on the content of radon in the air of subsoils, a BMC-2 reference borehole radiometer (ALGADE Barisol, France) was installed in a borehole 3 m deep in one of the points of the Kamchatka network. BMC-2 records the content of radon in the air by alfa-radiation. In addition, a beta-radiation sensor is placed in the borehole. Currently, data is being accumulated for further analysis.

The development of an emanation method for earthquake prediction requires modern digital equipment, which makes it possible to obtain time series of various parameters in time close to real. The hardware base of the Kamchatka network of subsurface gas registration points is constantly being improved and developed in order to provide detailed continuous high-quality data series for research and meet international standards.

Acknowledgments: the work was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ 075-00576-21). The data used in the work were obtained with large-scale research facilities (Seismic infrasound array for monitoring Arctic cryolitozone and continuous seismic monitoring of the Russian Federation, neighbouring territories and the world) (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>), and was funded by RFBR, project number 20-05-00493.

### 3.8 Ionospheric precursors recognition technology on the geomagnetic disturbances background

*Pulinets S.A.<sup>1</sup>, Budnikov P.A.<sup>2</sup>, Pulinets M.S.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Space Research Institute (IKI), RAS*

<sup>2</sup> *Fedorov Institute of Applied Geophysics*

<sup>3</sup> *Skobeltsyn Nuclear Physics Institute, Moscow State University*

As early as in the 70s of the last century, when the first publications about ionospheric precursors of earthquakes appeared, fierce discussions about their existence and their physical nature began. The main argument against was the fact of high variability of the ionosphere, especially due to geomagnetic storms, when we could observe a variations similar to the precursors of earthquakes. Despite the progress achieved both in the understanding of the physics of the phenomenon and in the methods of recognizing the patterns of ionospheric variability, a number of questions remained related to the differences between the ionospheric precursors themselves and the processes caused by other sources. To put an end to this discussion, we decided to conduct a study of variations in the total electron content during periods of strong geomagnetic disturbances and during periods of preparation for earthquakes. In this case, we proceed from the assumption that the difference in the physical processes responsible for the generation of ionospheric variations during the preparation of an earthquake and caused by the development of geomagnetic storms should manifest itself in the patterns of ionospheric variability both in the spatial distribution and in the development of the anomaly in local time, which is especially characteristic for ionospheric precursors. This characteristic pattern of a significant increase in the electron content at night as the moment of the earthquake approaches was called the “precursor mask”. This phenomenon has been studied for various seismically active areas. It turned out that these patterns are similar for a wide range of conditions, which made it possible to substantiate the possibility of automatic cognitive identification of ionospheric earthquake precursors. At the next step, we analyzed the behavior of the ionosphere during geomagnetic disturbances of various intensities. Here the picture turned out to be more complicated due to different reactions of the ionosphere at different latitudes, as well as differences in the reaction of the ionosphere as a function of the onset of a geomagnetic storm from local time.

Nevertheless, certain patterns were established, showing a significant difference in ionospheric precursors and ionospheric variability during geomagnetic storms. The “masks” of ionospheric precursors and geomagnetic storms, as well as variations in the ionosphere, when the storm occurred during the period of the final stage of the earthquake preparation, will be demonstrated.

### **3.9 Mathematical arsenal of the self-developing processes model to analyze foreshock series and a probability of strong earthquake occurrence**

*Bogomolov L.M.<sup>1</sup>, Boginskaya N.V.<sup>1</sup>, Sychev V.N.<sup>2,2</sup>*

<sup>1</sup> *IMGG FEB RAS*

<sup>2</sup> *RS RAS*

The self-developing processes model, SDP, (adaptive version of blow-up regimes model for seismic events sequence) was applied successfully for mid-term predictions of strong earthquakes in the Far East Region of Russia. Being the authors of a predictive algorithm based on this model A.I. Malyshev and I.N. Tikhonov demonstrated the possibility of quasi-real-time (rather than retrospective) prediction of an earthquake in the Sakhalin. Presently, a number of successful predictions of Sakhalin earthquakes with magnitudes above 5 is 8. Such Sakhalin precedent makes a challenge to physical grounds of the SDP model beyond the concept self-organization and its specific aspect — possible realization of the blow-up regime with the explosive growth of seismic activity before the mainshock. Further development of SDP model and a new approach to search precursors are very urgent as well. The presentation focused on the mathematical technique of SDP model and its similarity to that used in Hydrodynamics for description of well-known explosive instability of waves in a metastable medium. The generalization of Malyshev-Tikhonov SDP model has been proposed to avoid singularity in the explosive activity growth predicted by the previous version of that model. Introducing events accumulation negative feedback to the model one can take into account the self-preservation property of geological medium due to exit the blow-up regime. The solutions

obtained show that the rapid (explosive) growth of activity becomes slower and saturates just before the mainshock. This is correspondent with the foreshock series before well-known earthquakes in the Far East of Russia (Simushir EQs, 2006–2007, Nevelsk EQ, 2007). A generalized model has allowed new ways for short-term probabilistic predictions of strong earthquake occurrence.

### **3.10 Modeling of geoacoustic emission zones before strong earthquakes in Kamchatka that occurred in the period from 2019 to 2021**

*Gapeev M.I.*

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

The calculation of the geoacoustic radiation zones in accordance with various relative strain levels has been carried out. This calculation is based on the static model of the deformation field in the framework of the elasticity theory. According to this model, the earth's crust is considered as a homogeneous isotropic elastic half-space in which various stress sources are present.

During the construction of the model, the variants of earthquake focus are considered in the form of a concentrated source with a different combination of double forces and an extended source (a rectangle with a constant movement vector).

In the course of modeling, small-focus earthquakes in Kamchatka in the period from 2019 to 2021 with a moment magnitude higher than 5.0, the mechanics of the focus of which is associated with a fault in the continuity of the medium, has been considered.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

### 3.11 On the dynamics of the electromagnetic parameters of the Northern Tien Shan lithosphere

*Bataleva E.A.*

*Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek*

Data on the parameters of the electromagnetic field of the Earth's crust in the Northern Tien Shan are generalized and systematized. The experimental material of the Bishkek geodynamic test site was used — the results of magnetotelluric monitoring and the catalog of the KNET network (Kyrgyzstan Telemetered Network), as well as the catalogs of the KRNET (Kyrgyz Republic Digital Network) and ISC (International Seismological Center) networks. Based on the analysis of these data, the dependence of the response of seismic events in electromagnetic parameters on the distance of earthquake epicenters was studied. The most probable reason for the occurrence of anomalous changes in the electromagnetic field is the activation of deformation processes during the preparation of strong earthquakes. The aim of this work is to analyze variations in the magnetic tipper and seismic events recorded by various seismic networks. Taking into account that real induction arrows (ReW) are associated with active electric currents, and imaginary (ImW) — with reactive ones, we built and considered the time-frequency series of both parameters (ReW and ImW). The results of the time-frequency analysis are presented and the features of manifestation are considered depending on the location of the hypo- and epicenters of seismic events and their magnitude. Regularities have been established in the behavior of tipper variations for remote and regional earthquakes for the period 2010–2020 with an energy class from 8 to 12.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Research Station of the Russian Academy of Sciences on the AAAA-A19-119020190063-2 topic.

### 3.12 Physical mechanisms of non-seismic phenomena accompanying earthquakes: A review

*Surkov V.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Science*

<sup>2</sup> *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation (IZMIRAN), Russian Academy of Sciences*

The report provides an overview of the theoretical models constructed to explain some of the nonseismic phenomena that occur before, during, and after earthquakes. Theoretical models of the following phenomena accompanying earthquakes are analyzed.

(1) Local changes in the electrical conductivity of the earth associated with the movement of the conducting groundwater and changes in the conductivity of the rock under the influence of tectonic deformations.

(2) Abnormal low-frequency electromagnetic noise, possibly related to the cracks generation, geomagnetic disturbances or electrokinetic effect in porous water-saturated rocks.

(3) Co-seismic electromagnetic phenomena, including the seismoelectric effect, disturbances of the geomagnetic field by seismic waves propagating in the conducting layers of the earth, electromagnetic forerunner of a seismic wave; disturbance of the ionosphere by acousto-gravitational waves.

(4) The emission of radon and charged aerosols from the soil and their possible effect on the electrical conductivity of the atmosphere and the total electron content in the ionosphere.

(5) Anomalies of infrared radiation observed over seismically active regions, and theoretical models of this phenomenon, including the local greenhouse effect, convective heating of the earth's surface by groundwater, and heating of the atmosphere caused by radioactive decay of radon.

### 3.13 Polarization analysis in radial anisotropy studies

*Lyskova E.L.<sup>1</sup>, Sannikov K.Yu.<sup>1</sup>, Arzhanenkova A.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *St Petersburg State University*

<sup>2</sup> *ITMO University*

The problems associated with the study of the radial anisotropy of the Earth's upper mantle continue to be relevant.

Different opinions are expressed regarding the reasons for radial anisotropy: it can arise as a result of convective flows of matter in the upper mantle or deformation of matter as a result of tectonic processes for hundreds of millions of years, preserved in the modern lithosphere. The first reason seems to describe the anisotropy of the oceanic upper mantle, where the excess of  $V_{SH}$  over  $V_{SV}$  is always observed, while the second is the continental mantle, where different relationships between  $V_{SH}$  and  $V_{SV}$  are possible.

According to the data of different authors, the sign between the velocities  $V_{SH}$  and  $V_{SV}$  for the continental regions is very different, first of all, probably, due to the more complex structure of the continental regions as compared to the oceanic ones.

Our previous studies devoted to the analysis of the distribution of the anisotropy coefficient in the Carpathian-Pannonian system made it possible to reveal the predominance of the low-velocity anomaly under the Pannonian Basin and the Transylvanian Depression, the separation of the structure of the ancient East European platform from the young orogenic zones of Western Europe along the Tornquist-Teisseyre Zone.

To obtain the most accurate distribution of the anisotropy coefficient, it is important to be able to obtain pure lateral velocity distributions of Love and Rayleigh waves. In most cases, the geometrical azimuth corresponding to the path along the great-circle arc actually practically coincides with the true azimuth of the arrival of the wave at the station. However, for periods up to 30–40 s, due to the strong lateral heterogeneity of the crust and subcrustal mantle, the true azimuth can be quite different from the geometric one. In this case, the transverse component of the displacement obtained from the geometric azimuth may contain, in addition to the Love wave, some contribution from the Rayleigh wave. This can lead to significant distortions, especially in the range of periods of about 200–40 s, where

the velocities of the Rayleigh and Love waves can be close. Therefore, the dispersion curves of the Love wave, obtained from the geometric azimuth of the arrival of the wave, may contain errors associated with the superposition of the Rayleigh wave on the record.

In this study, we propose a method for obtaining pure Love and Rayleigh dispersion curves based on polarization analysis. For some periods, deviations from the geometric azimuth reached more than 20 degrees. Refined velocity distributions made it possible to obtain more detailed features in the distribution of the anisotropy coefficient in the Carpathian-Pannonian

### **3.14 Relationship of major earthquakes with space events**

*Zenkin O.V.*

*Sakhalin State University*

According to some information sources, for example, the USGS (US Geological Survey), it can be determined that the major earthquakes of magnitude greater 6.4M occur, on average, 10–15 times a year. Some of them are timed to space events of lunisolar eclipses. In addition to the celestial mechanics of lunisolar eclipses, there are other external mechanisms for the occurrence of earthquakes on Earth, associated with cosmic factors. And as such, we consider the impact of the planets of the solar system. One such mechanism for predicting large earthquakes can be determined with the earth's annual revolution round the sun, and thus occurs with a period of 365 days. With this mechanism, the Earth falls into the vector physical field that the Sun forms with the planets in outer space. Since, for example, with distant giant planets for a period of 1 year, the direction of this field practically does not change, then in the statistics of large earthquakes, presumably, one can find events that occur day-to-day for two or more years in a row. In fact, paired events took place in 2004–2006 ( 2004/11/15/9 2005/11/14/21 2006/11/15/11 ) in 1 year and 12 hours and 1 year and 14 hours, when the Earth passed through the vector field of Pluto –Jupiter–Sun– Earth– Neptune in line.

It can be argued that large earthquakes are caused by the factors of celestial mechanics which are external to the Earth. If the statement does not seem convincing enough, then it is possible to give

a scientific justification. Based on mathematical statistics, we calculate the probability of 3 day-to-day coincidences of dates for two years will be less than 0.02%. That is, the event is incredible. But since this nevertheless happened, then with a confidence of more than 99.8%, it can be considered that the cause of the occurrence of large earthquakes is not a pile of accidents, but a pattern, namely, one that obeys the laws of celestial mechanics.

### **3.15 Some aspects of the appearance of global geomagnetic signals as precursors of strong earthquakes**

*Parkhomov V.A.<sup>1</sup>, Khomutov S.Yu.<sup>2</sup>, Tsegmed B.<sup>3</sup>,  
Vedernikova T.I.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Baikal State University, Irkutsk, Russia*

*<sup>2</sup> Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation  
FEB RAS, Russia*

*<sup>3</sup> Institute of Astronomy and Geophysics AS Mongolia, Ulaan-Baatar,  
Mongolia*

Variations of the Earth's magnetic field before strong earthquakes are studied. A comparison of their global and local manifestations is made. It is shown that in many cases, the sources of signals assumed to be of lithospheric origin are located in the magnetosphere and are directly recorded by satellites in high orbits. Thus, such geomagnetic variations are generated by the interaction of the solar wind with the magnetosphere and cannot be considered as precursors of earthquakes that have a physical relation with the preparation processes in the focus of the forming seismic event. Preliminary analysis shows that complex geophysical information, including data on the state of near-Earth environment, is necessary for reliable identification of the earthquake precursors.

The work was carried out as part of the implementation of the state task AAAA-A21-121011290003-0.

### 3.16 Tsallis entropy in the analysis of seismological and experimental data

*Sychev V.N., Sycheva N.A., Kulkov D.S.*

*Science research station of the RAS in Bishkek city*

The analysis of seismological and experimental data on uniaxial strength testing of geomaterial samples is based on the concept of entropy, which was introduced in 1988 by Constantino Tsallis as a basis for generalizing standard statistical mechanics for the case of nonextensive (non-additive) systems. To describe the energy distribution function of earthquakes, we used a modified model of the stick-slip earthquake source — discontinuous sliding of two plates relative to each other along the fault in the presence of friction and filling fragments between the fault surfaces and the principle of maximum entropy. This approach was used to quantify long-range spatial correlations arising in the flow of earthquakes, as well as to estimate changes in long-range spatial correlations immediately before the main event and during the aftershocks. It is shown that the flow of earthquakes is a system with memory and long-range spatial correlations. The Tsallis parameter  $q$  for the aftershock sequences exceeds the value  $q$  calculated for the entire earthquake catalog, which indicates that the long-range spatial correlations increase before the earthquake and continue to remain elevated during the aftershocks. The same approach was applied to the analysis of the energy distribution of acoustic emission signals. Complete self-similarity of energy distributions at various scale levels is demonstrated.

### 3.17 Variations of background seismic noise in the Kamchatka peninsula region in 2011–2021: Relationship with strong earthquakes

*Kopylova G.N., Kasimova V.A.*

*Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences*

Since 2011 the monitoring of the background seismic noise (BSN) statistical parameters is carried out with the use of continuous records from the network of 21 broadband seismic stations of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences. Daily maps of the spatial-temporal distribution of the BSN statistical parameters and graphs of median values for the entire period of observation have been created. The predictive algorithm for assessing the locations of the next earthquakes in area of the Kamchatka Peninsula was formed on the revealed features of the BSN parameters behavior at the preparations of local earthquakes with  $M_w=6.8-8.3$  similar to the BSN parameters changes before strong earthquakes in other regions.

Using the 2011–2016 data of BSN, the area of strong earthquakes danger was identified in the latitude range  $53-58^\circ$  N. Five out of six 2013–2018 earthquakes with  $M_w \geq 6.6$  occurred in highlighted area, including the Sea of Okhotsk earthquake with  $M_w=8.3$  and the Blichne-Aleutian earthquake with  $M_w=7.7$ . Since mid-2019 a displacement of the area of strong earthquakes danger to the southern part of the region in latitude range  $50-54^\circ$  N has been detected. Here, the North Kuril earthquake with  $M_w=7.5$  occurred in March 2020.

The report discusses the physical prerequisites of the predictive algorithm based on BSN data as well as the state and prospects of further research.

### 3.18 Whether variations in radon activity in a seismically active region can affect the ionosphere?

*Surkov V.V.<sup>1,2</sup>, Pilipenko V.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Science*  
<sup>2</sup> *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation (IZMIRAN), Russian Academy of Sciences*

In a number of seismically active areas, an abnormal increase in radon activity in the surface atmospheric layer was observed before and after some strong earthquakes. It is generally believed that these local anomalies lead to an increase in the ionization of the air, due to the radioactive decay of radon, and, as a result, to an increase in the electrical conductivity of the lower layers of the atmosphere. This paper presents a theoretical analysis of the known hypothesis that anomalies in radon activity cause variations in the vertical background current in the atmosphere, which, in turn, result in changes in the concentration and total electron content (TEC) of electrons in the ionosphere. To do this, we first solved the model stationary problem of a vertical axisymmetric current flowing from the atmosphere into the E-layer of the ionosphere. Local variations of this current, associated with radon emission from the soil, give rise to variations in the current spreading through the ionosphere. The solution of this problem makes it possible to estimate the change in the electron component of the current density in the ionosphere. The change in the electron number density in the ionosphere is determined by the kinetic equation describing the balance between the influx of fresh free electrons and their loss due to recombination with positive ions and attachment to neutral molecules. By making assumption that the activity of radon in the surface atmospheric layer has increased 2–3 times, the maximum relative change in the electron concentration in the E-layer of the atmosphere is estimated to be about  $10^{-5}$ . For the F-layer whose parameters vary over a wider range, this estimate lies within  $10^{-9} - 10^{-4}$ . This result allows us to conclude that this hypothesis is implausible. The observed GPS/TEC monitoring anomalies, presumably related to the ionospheric response to seismic events, appear to be of different causes.

**4 Energy transfer of solar  
wind-magnetosphere interaction:  
30 years of cooperation between  
STELab, Nagoya University and  
Russian scientific organizations**

## 4.1 Geoeffective large-scale plasma jets in the magnetosheath

*Dmitriev A.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *National Central University, Taiwan*

<sup>2</sup> *Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Russia*

Magnetosheath plasma jets can effectively interact with the magnetopause and, hence, can be geoeffective and affect the space-weather. We identified large-scale magnetosheath plasma jets with a duration of  $>30$  s using plasma and magnetic data acquired from the Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms (THEMIS) multi-spacecraft experiment during the years 2007 to 2009. We present a statistical survey of 554 of such geoeffective jets and elaborate on four mechanisms for the generation of these jets as the upstream solar wind structures of tangential discontinuities (TDs), rotational discontinuities (RDs), the quasi-radial interplanetary magnetic field (rIMF) and the collapsing foreshock (CFS) interrupting the rIMF intervals. We found that 69% of the jets are generated due to the interaction between interplanetary discontinuities (TD: 24%, RD: 25%, CFS: 20%) with the bow shock. Slow and weak jets due to the rIMF contributed to 31% of these jets. The CFS and rIMF were found to be similar in their characteristics. TDs and RDs contributed to most of the fast and powerful jets, with large spatial scales, which might be attributed to transient effects in the travelling foreshock.

## 4.2 Hpo, a hourly and half-hourly, open-ended, Kp-like index of geomagnetic activity

*Matzka J.*

*GFZ Potsdam*

The Hpo indices have a derivation scheme and frequency distribution similar to that of the traditional Kp index. However, they have a higher time resolution than Kp and the strongest geomagnetic events with  $Kp = 9$  are subdivided into a finer, open-ended scale.

The Hpo indices come in four versions: Hp60 and Hp30 resemble Kp, while ap60 and ap30 resemble the linear ap index, with 60 indicating the hourly and 30 the half-hourly indices. The indices are available from GFZ German Research Centre for Geosciences in near real-time and back to 1995. The index is licensed under CC BY 4.0 and has the DOI 10.5880/Hpo.0001. The index was developed within the EU Horizon 2020 project SWAMI in support of new models for thermospheric density and satellite drag. We will demonstrate the derivation of the index and compare it to the Kp index, the polar cap PC index and solar wind parameters. Examples of applications of the index will be shown.

### **4.3 Integration study of modeling and global observation of magnetosphere–ionosphere–atmosphere system for investigation of coupling process in the space–terrestrial transition region**

*Yoshikawa A.*

*Kyushu University, Japan*

The transition region between the Earth’s atmosphere and space plasma, which extends from the atmosphere to the ionosphere and magnetosphere, is a system in which the dynamics of the Earth’s atmosphere powered by sunlight, and space plasma driven by the solar wind, strongly influence each other through mechanical collisions.

Furthermore, in this transition region, electrodynamics driven by plasma motion, is activated in the vertical coupling between the magnetosphere–ionosphere–atmosphere and the global coupling from the polar to equatorial regions. Therefore, the establishment of “the science of the transition region between the Earth’s atmosphere and space plasma” is an essential evolution for understanding the past, present, and future of the general circulation system of the Earth’s atmosphere and space plasma and the Earth system connected to the universe.

To investigate the coupling process in the space–terrestrial transition region, we developed several types of magnetosphere–ionosphere–atmosphere coupling scheme and simulators.

In this presentation, we will introduce our strategy of integration of modeling and global observation to approaching “space-terrestrial transition region” from viewpoint of inter-spheres coupling physics.

#### **4.4 Some histories of collaboration between STEL, Nagoya University and Russian scientific organizations**

*Shiokawa K.<sup>1</sup>, Baishev D.G.<sup>2</sup>, Shevtsov B.M.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Japan*

<sup>2</sup> *Yu.G.Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy and Yakut Scientific Centre SB RAS*

<sup>3</sup> *Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

We review some histories of collaboration which have been mainly led by late Professor Kiyohumi Yumoto, between the Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL), Nagoya University, and the two scientific organizations under the Russian Academy of Sciences, Institute of Cosmophysical Research and Radiowave Propagation (IKIR) and Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy (IKFIA). The collaboration started in early 1990s and continue over 30 years up to now. Continuous measurements of geomagnetic field and aurora/airglow have been made using multi-point fluxgate/induction magnetometers and auroral/airglow cameras in the Far-Eastern and Siberian region of Russia. This collaboration further expanded to the recent PWING project for longitudinal chain stations around the north pole at subauroral latitudes.

## 4.5 The impact of developed Alfvén turbulence of the solar wind magnetic field on processes in the Earth's inner magnetosphere

*Khalipov V.L.<sup>1</sup>, Leonovich A.S.<sup>2</sup>, Sibeck D.G.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *IKI RAN, Russia*

<sup>2</sup> *ISZF RAN, Russia*

<sup>3</sup> *NASA, USA*

Daniel Barbier has obtained the large measurement series of red arcs with intensity 50-100 kR during IGY 1957-1959 years. Such intensities cannot be covered by a ring current energy dissipation. However we can hope to another powerful energy source: MHD-turbulence in the Solar wind which cause a field line resonance (FLR) in the magnetosphere. This mechanism assumes presence of fast magnetosonic (FMS) waves penetrating from the magnetopause into the magnetosphere. The source of the FMS waves themselves can be, for example, the Kelvin-Helmholtz instability develops at the magnetopause flowing around by the solar wind flow. Monochromatic FMS waves penetrating into the magnetosphere drive standing Alfvén waves at the resonance magnetic shells, where their frequency coincides with the local Alfvén wave frequency. If FMS waves the source is broadband, then Alfvén waves can be excited in a wide magnetic shells range including the plasmopause, where the resonant shells concentration is maximum Kinetic Alfvén waves with an electric field component directed along the magnetic field are excited. Such waves are observed experimentally. The theory of this physical process was considered in detail in the work of the theorists from Japan Hasegawa&Mima in the work of V. Mazur and A. Leonovich from the ISZF of Irkutsk. It was found that the waves are locked at the plasmopause and become standing. The phase velocity of the waves is close to the thermal velocity of the background electrons, and as a result of the Cherenkov resonance, the electrons are selectively accelerated to an energy of several eV, creating a red arc of luminescence in the atmosphere.

## 4.6 Variations in the components of the magnetospheric ring current according to the data on the geomagnetic indices SYM and ASY

*Makarov G.A.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of  
Siberian Branch of the RAS (SHICRA SB RAS), Yakutsk, Russia*

<sup>2</sup> *The Yakut Scientific Centre of Siberian Branch of the RAS,  
Yakutsk, Russia*

Changes in the average daily values of the Dst, SYM-H, ASY-H and ASY-D indices for the period 1981-2016 are considered. These indices are the geomagnetic characteristics of the magnetospheric ring current. It is shown that the SYM-H, ASY-H, and ASY-D indices have seasonal variations and dependence on the level of magnetic disturbance — the absolute values of all three indices increase in the summer months and increase linearly with increasing disturbance, which can be interpreted as a simultaneous increase in symmetric and asymmetric component of the ring current, while the symmetrical component grows more strongly than the asymmetric component. According to the data on seasonal variations, it was found that the ASY-H and ASY-D indices in magnetically quiet periods are not zero and their mean annual values are 14.4 nT and 13.7 nT, respectively. According to the regression analysis of the ASY-H, ASY-D, and Dst indices, the offsets in the dependences of the ASY-H and ASY-D indices on the level of magnetic disturbance determined by the Dst index were established: for ASY-H 14.4 nT, for ASY-D 13.3 nT. The average annual values of ASY-H and ASY-D in magnetically quiet periods and offsets in these indices suggest the presence of an asymmetric component of the ring current in the absence of magnetic disturbance.

## Author Index

- Abanin O.I., 136  
Akbashev R.R., 99, 115  
Aleksandrov D.V., 157  
Arzhanenkova A.N., 170  
Atanassov A., 98
- Baishev D.G., 142, 143, 179  
Balabin Yu.V., 101, 104, 108, 110  
Baryshev P.E., 153  
Bataleva E.A., 123, 168  
Bazilevskaya G.A., 103  
Bebnev A.S., 153  
Beletsky A.B., 110, 120  
Bizouard C., 154  
Bobrovsky V.S., 150  
Bogdanov V.V., 158, 162  
Boginskaya N.V., 166  
Bogomolov L.M., 166  
Bojilova R., 98, 107  
Boldina S.V., 161  
Borkov Yu., 117  
Borodin P.B., 153  
Borthakur M., 103  
Budnikov P.A., 165  
Bychkov V. V., 112
- Chang Y.-C., 95  
Chen T., 157  
Chentsov A.V., 116  
Cherepanova T.A., 153  
Chernenko V.A., 132  
Cherneva N.V., 106, 119  
Chernyaeva S.A., 113  
Chesnokova T.Yu., 116  
Craig Rodger, 106  
Csaba Ferencz, 106
- Dávid Koronczay, 106  
Deichuli V.M., 111  
Denisov A.Y., 153  
Despirak I.V., 98, 107, 129, 133, 135  
Didenko K.A., 97  
Dmitriev A.V., 95, 112, 127, 177  
Dolgacheva S.A., 113  
Drexler P., 102  
Druzhin G.I., 99, 119  
Dubrov M.N., 157
- Em A.A., 132  
Ermakova T.S., 97, 109, 118
- Fedotova O.I., 141  
Feshchenko L.K., 126  
Firstov P.P., 99, 115, 119, 122, 159, 163
- Gapeev M.I., 167  
Gavrilov N.M., 109  
Gergely Kobán, 106  
Germanenko A.V., 101, 108, 110  
Godomskaya A.N., 151  
Gorovoy S.V., 131  
Grach S.M., 120  
Grankin D.V., 103  
Gromov S.V., 148  
Gromova L.I., 148  
Guineva V., 98, 107, 133, 135  
Gvozdevsky B.B., 101, 110
- Hsieh M.-C., 95  
Hsu H.-W., 95  
Huang G.-H., 95

Ievenko I.B., 142

János Lichtenberger, 106

Kalegaev V.V., 136

Kanonidi K.K., 153

Kapustina O.V., 99

Karagodin A.V., 100

Karimov R.R., 106

Kasimova V.A., 174

Khalipov V.L., 180

Khomutov S.Yu., 134, 153, 172

Kitaeva A.V., 111

Kleimenova N.G., 107, 133, 135

Klimenko M.V., 115

Kogogin D.A., 120

Kopylova G.N., 161, 174

Korochentsev V.I., 131, 132,  
141

Kostylev D.V., 163

Kotikov A.L., 153

Koval A.V., 109, 118

Kovalev A.A., 141

Kozlov V.I., 143

Kozyreva O.V., 128, 137

Krasnoperov R.I., 127

Kudin D.V., 127, 153

Kulkov D.S., 173

Kumykov T.S., 102

Kuznetsov V.V., 122

Larionov I.A., 145, 157

Lavrentieva N.N., 111

Leonovich A.S., 180

Li Y.-H., 95

Lin C.-H., 95

Lin Y.-C., 95

Lobova T.Zh., 131

Lubchich A.A., 98, 107, 133,  
135

Lukovenkova O.O., 125, 149

Lukyanov A.N., 105

Lyskova E.L., 170

Makarov E.O., 159, 163

Makarov G.A., 181

Makhmutov V.S., 103

Malkin E.I., 99, 119

Mandrikova B.S., 127

Mandrikova O.V., 123, 134

Marapulets Yu.V., 124, 145

Marchukova O.V., 154

Mark Clilverd, 106

Matzka J., 177

Maurchev E.A., 101, 108, 110

Mendoza M., 95

Mikhailov Yu.M., 99

Mikhalko E.A., 101, 110

Mingalev O.V., 104

Mironova I.A., 100, 103, 115

Mishchenko M.A., 124, 145

Mrlina J., 157

Nagorsky P.M., 99

Nasyrov I.A., 120

Nikolaev A.V., 113

Novikov V.A., 147

Okulicheva A.A., 118

Orsolya Ferencz, 106

Osedlo V.I., 136

Papsheva S.Yu., 134

Parkhomov V.A., 172

Parnikov S.G., 142

Parovik R.I., 132, 159

Pavlov A.F., 141

Pavlov A.V., 158, 162

Pavlov E.A., 143

Pavlov N.N., 136

Petrosyants V.V., 131

Petrov V.L., 136

Petrova T.M., 111  
 Pikulina P.O., 115  
 Pilipenko V.A., 128, 137, 175  
 Pivnev P.P., 141  
 Podlesnyi S.V., 113  
 Podzolko M.V., 136  
 Pogoreltsev A.I., 97, 109  
 Polak V., 157  
 Polozov Y.A., 123, 125  
 Pulinets M.S., 165  
 Pulinets S.A., 165  
 Pustovalov K.N., 99  
  
 Rakhmonov Z.R., 132  
 Rakushina E.V., 97  
 Raykova L., 98, 107  
 Riabova S.A., 130, 134  
 Rokotyan N.V., 116  
 Rozanov E.V., 100, 103, 115  
 Rubinstein I.A., 136  
 Rulenko O.P., 124, 152  
  
 Sakharov Ya.A., 128, 129, 137  
 Sannikov D.V., 106  
 Sannikov K.Yu., 170  
 Sapunov V.A., 153  
 Saunkin A.V., 113  
 Selivanov V.N., 129  
 Semakov N.N., 141  
 Seredkin I.N., 112  
 Setsko P.V., 98, 104, 129, 133,  
 135  
 Shakirova A.A., 122  
 Shcheglova E.S., 110  
 Shcherbina A.O., 149  
 Shemukhin A.A., 136  
 Sheremetyeva O.V., 151  
 Shevtsov B.M., 114, 119, 179  
 Shindin A.V., 120  
 Shiokawa K., 142, 179  
 Shitov A.V., 150  
  
 Shpak Yu.V., 131  
 Sibeck D.G., 180  
 Sidorenkov N.S., 154  
 Sidorov R.V., 153  
 Sinnhuber M., 103  
 Sivokon V.P., 128, 140  
 Smirnov S.E., 95  
 Solodchuk A.A., 149  
 Solodov A.A., 111  
 Solodov A.M., 111  
 Stefan Lotz, 106  
 Stoppa F., 150  
 Sukhodolov T.V., 103, 115  
 Sulakshina O., 117  
 Surkov V.V., 169, 175  
 Svertilov S.I., 136, 138  
 Sychev V.N., 144, 166, 173  
 Sycheva N.A., 144, 146, 173  
 Syrenova T.E., 110, 120  
  
 Tagaev T.I., 132  
 Tarasov S.P., 141  
 Tatarnikov A.V., 110  
 Toropov A. A., 96  
 Trifonova-Yakovleva A.M., 116  
 Tsai L.-C., 95  
 Tsegmed B., 172  
 Tsogtbaatar E., 95  
 Tsvetkova N.D., 105  
 Tulupov V.I., 136  
 Turbin Y.G., 153  
 Tverdyi D.A., 159  
  
 Valev D., 98  
 Vargin P.N., 105  
 Varlamov I.I., 142  
 Vasiliev R.V., 110  
 Vasilyev R.V., 113  
 Vedernikova T.I., 172  
 Vlasova N.A., 136  
 Vodinchar G.M., 126

Volkov V.A., 157  
Voronin V.A., 141

Wei Xue, 132  
Werner R., 98, 107, 129

Yakovchuk O.S., 115  
Yoshikawa A., 178

Zagainova Iu. S., 148  
Zagretdinov R.V., 120  
Zakharov V.I., 116  
Zavodevkin I. A., 122  
Zenkin O.V., 171  
Zeren Z., 147  
Zhu Jianjun, 131, 141  
Zorkaltseva O.Z., 113  
Zotov L.V., 154

# Contents

<b>1</b>	<b>Atmosphere physics</b>	<b>94</b>
1.1	Smirnov S.E. Annual variation of atmospheric electricity diurnal variation maximum in Kamchatka . . . . .	95
1.2	Dmitriev A.V., Chang Y.-C., Hsieh M.-C., Hsu H.-W., Huang G.-H., Li Y.-H., Lin C.-H., Lin Y.-C., Mendoza M., Tsai L.-C., Tsogtbaatar E. Application of artificial intelligence for recovering of ionograms in Taiwan . . . . .	95
1.3	Toropov A. A. Characteristics of thunderstorm activity in the Arctic region according to the measurement results in Tixie Bay . . . . .	96
1.4	Didenko K.A., Ermakova T.S., Pogoreltsev A.I., Rakushina E.V. Climatic variability of the stratosphere-troposphere coupling during the last decade . . . . .	97
1.5	Guineva V., Werner R., Atanassov A., Bojilova R., Raykova L., Valev D., Setsko P.V., Lubchich A.A., Despirak I.V. Development of a substorms catalog including the MPB observed at Panagjurishte station, Bulgaria . . . . .	98
1.6	Druzhin G.I., Malkin E.I., Kapustina O.V., Mikhailov Yu.M. ELF range of electromagnetic radiation of a lightning discharge as a sprite indicator .	99
1.7	Akbashev R.R., Pustovalov K.N., Nagorsky P.M., Firstov P.P. Electrical structures of eruptive clouds on the example of Ebeko volcano explosions and intramass cumulonimbus clouds . . . . .	99
1.8	Karagodin A.V., Mironova I.A., Rozanov E.V. Evaluation of surface meteorology for changes in cloud microphysics caused by clear weather anomalies $Jz$ under the influence of an interplanetary magnetic field .	100
1.9	Balabin Yu.V., Gvozdevsky B.B., Germanenko A.V., Mikhalko E.A., Maurchev E.A. Experimentum crucis: background gamma radiation increasing during precipitation in the Arctic Ocean . . . . .	101
1.10	Kumykov T.S., Drexler P. Fractal structure effect on electric field within thunderclouds . . . . .	102

1.11	Mironova I.A., Sinnhuber M., Bazilevskaya G.A., Borthakur M., Grankin D.V., Makhmutov V.S., Rozanov E.V., Sukhodolov T.V. High-energy electron precipitation into the atmosphere based on balloon and satellite observations . . . . .	103
1.12	Setsko P.V., Mingalev O.V. Influence of oxygen ions on the formation of a current sheet in the Earth's magnetotail . . . . .	104
1.13	Balabin Yu.V. Influence of solar activity on the increase in background gamma radiation during precipitation . .	104
1.14	Vargin P.N., Lukyanov A.N., Tsvetkova N.D. Investigation of Arctic stratosphere dynamics peculiarities and its tropospheric impacts in the winter 2019–20 and 2020–21 . . . . .	105
1.15	Lichtenberger J., Koronczay D., Kobán G., Ferencz Cs., Ferencz O., Sannikov D.V., Cherneva N.V., Clilverd M., Rodger C., Lotz S., Karimov R.R. Large scale structures in the plasmasphere . . . . .	106
1.16	Guinea V., Despirak I.V., Werner R., Bojilova R., Raykova L., Kleimenova N.G., Lubchich A.A. Mid-latitude effects of expanded geomagnetic substorms: a case study . . . . .	107
1.17	Maurchev E.A., Germanenko A.V., Balabin Yu.V. Modeling of the Earth atmosphere ionization by the galactic cosmic rays and the solar cosmic rays . . .	108
1.18	Gavrilov N.M., Koval A.V., Pogoreltsev A.I., Ermakova T.S. Modelling of the sensitivity of global atmospheric circulation and planetary waves to the solar activity changes . . . . .	109
1.19	Beletsky A.B., Syrenova T.E., Vasiliev R.V., Tatarnikov A.V., Shcheglova E.S. Monitoring of atmospheric transparency at night based on data from optical instruments of the National Heliogeophysical Complex . . . . .	110
1.20	Balabin Yu.V., Germanenko A.V., Maurchev E.A., Mikhalko E.A., Gvozdevsky B.B. Muon telescope in the complex system of registration of cosmic rays in Apatity	110

1.21	Petrova T.M., Deichuli V.M., Solodov A.M., Solodov A.A., Lavrentieva N.N., Kitaeva A.V. New spectroscopic data on $H_2O$ and $CO_2$ molecules absorption lines . . . . .	111
1.22	Bychkov V. V., Seredkin I.N., Dmitriev A.V. Observations of resonant scattering in the thermosphere and upper mesosphere in the winter season of 2021. . . . .	112
1.23	Nikolaev A.V., Dolgacheva S.A., Chernyaeva S.A. On the accuracy of aurora visible boundaries in the OVATION Prime (PC) model . . . . .	113
1.24	Zorkaltseva O.Z., Vasilyev R.V., Saunkin A.V., Podlesnyi S.V. Reaction of the mesosphere and lower thermosphere to the dynamics of the lower atmosphere . . . . .	113
1.25	Shevtsov B.M. Relaxation and nonlinear oscillations of a magnetic dynamo: beats in solar activity . . . . .	114
1.26	Mironova I.A., Klimenko M.V., Pikulina P.O., Rozanov E.V., Sukhodolov T.V., Yakovchuk O.S. Response of the ionosphere-atmosphere system on solar flares and energetic particle precipitation during extreme events . . . . .	115
1.27	Akbashev R.R., Firstov P.P. Results of physical modeling of the response of the the atmospheric potential gradient to the passage of eruptive clouds from the explosions of the Ebeko volcano (Paramushir Island) . . . . .	115
1.28	Chesnokova T.Yu., Chentsov A.V., Rokotyan N.V., Zakharov V.I., Trifonova-Yakovleva A.M. Retrieval of methane and carbon oxides content from the atmospheric spectra of solar radiation . . . . .	116
1.29	Sulakshina O., Borkov Yu. Simulation spectra of the OH and OD molecules in the UV region . . . . .	117
1.30	Ermakova T.S., Koval A.V., Okulichева A.A. Special effects of early sudden stratospheric warmings . . . . .	118
1.31	Shevtsov B.M. Thermosphere Lidar: resonant reflections and review of observations . . . . .	119
1.32	Malkin E.I., Firstov P.P., Cherneva N.V., Druzhin G.I. Thunderstorm activity during the eruption of volcanoes of the northern group . . . . .	119

1.33	Beletsky A.B., Nasyrov I.A., Syrenova T.E., Kogogin D.A., Grach S.M., Shindin A.V., Zagretdinov R.V. Variations in the parameters of the Earth's atmosphere and ionosphere during exposure to high-power short-wave radio emission from the "Sura" stand . . . . .	120
<b>2</b>	<b>Geophysical fields and their interaction</b>	<b>121</b>
2.1	Zavodevkin I. A., Shakirova A.A., Firstov P.P. "Drumcorr" software for selecting earthquake multiplets based on cross-correlation analysis . . . . .	122
2.2	Kuznetsov V.V. A new quantum model of the magnetic field of the hot Earth, Moon and terrestrial planets . . .	122
2.3	Mandrikova O.V., Polozov Y.A. Analysis of ionospheric parameters based on NARX neural networks . . . . .	123
2.4	Bataleva E.A. Analysis of the features of the spatio-temporal distribution of geoelectric inhomogeneities in the Earth crust and seismic events . . . . .	123
2.5	Mishchenko M.A., Rulenko O.P., Marapulets Yu.V. Analysis of the manifestation of the joint acoustic and electrical response of near-surface sedimentary rocks to deformation by seismic waves of earthquakes in South Kamchatka . . . . .	124
2.6	Polozov Y.A. Analysis of the short-term variations of IMF Bz and AE index . . . . .	125
2.7	Lukovenkova O.O. Application of adaptive wavelet thresholding to recovery geophysical signal pulse waveforms . . . . .	125
2.8	Feshchenko L.K., Vodinchar G.M. Checking the stability of solutions in shell models using symbolic computations	126
2.9	Mandrikova B.S., Dmitriev A.V. Detection and analysis of anomalous events in neutron monitor data based on machine learning methods . . . . .	127
2.10	Kudin D.V., Krasnoperov R.I. Extreme-value magnetic events on the territory of Russia derived from ground-based observations during the 24th solar cycle . . . . .	127
2.11	Sivokon V.P. Fluctuations of electromagnetic radiation scattered on artificial irregularity of the ionosphere . . .	128

2.12	Pilipenko V.A., Sakharov Ya.A., Kozyreva O.V. GIC and irregular geomagnetic pulsations during the ULF wave challenge event: Magnetic storm on 27–28 May 2017 . . . . .	128
2.13	Setsko P.V., Despirak I.V., Sakharov Ya.A., Selivanov V.N., Werner R. GICs in the main transmission line “Northern Transit” in Russia and in the Mantsala Finland Pipeline: cases 17.03.2013 and 15.03.2012 . . . . .	129
2.14	Riabova S.A. High-frequency secular geomagnetic variations according to data from the Mikhnevo, Belsk and Borok observatories . . . . .	130
2.15	Korochentsev V.I., Petrosyants V.V., Gorovoy S.V., Zhu Jianjun, Lobova T.Zh., Shpak Yu.V. Investigation of acoustic fields in the Arctic zone under uneven ice cover . . . . .	131
2.16	Korochentsev V.I., Wei Xue, Chernenko V.A., Em A.A., Tagaev T.I. Investigation of electromagnetic fields in the Arctic zone under uneven ice cover . . . . .	132
2.17	Parovik R.I., Rakhmonov Z.R. Investigation of the dynamic modes of the Selkov fractional oscillator in the simulation of microseisms . . . . .	132
2.18	Despirak I.V., Kleimenova N.G., Lubchich A.A., Guineva V., Setsko P.V. Magnetics supersubstorms as one of the strongest feature of space weather . . . . .	133
2.19	Riabova S.A. Manifestation of falls of cosmic bodies in the atmosphere in geomagnetic variations . . . . .	134
2.20	Papsheva S.Yu., Mandrikova O.V., Khomutov S.Yu. Method of noise detection in magnetic data based on wavelet-transformation and adaptive thresholds . . . . .	134
2.21	Lubchich A.A., Despirak I.V., Kleimenova N.G., Setsko P.V., Guineva V. Mid-latitude effects of supersubstorms during storms: a case study . . . . .	135
2.22	Osedlo V.I., Abanin O.I., Vlasova N.A., Kalegaev V.V., Pavlov N.N., Petrov V.L., Podzolko M.V., Rubinstein I.A., Svertilov S.I., Tulupov V.I., Shemukhin A.A. Monitoring of ionosphere and magnetosphere plasma and high energy charge particle fluxes in multi-satellite measurements in wide range of altitudes . . . . .	136

2.23	Kozyreva O.V., Pilipenko V.A., Sakharov Ya.A. Is the global MHD modeling of the magnetosphere adequate for the prediction of geomagnetically induced currents? .	137
2.24	Svertilov S.I. Monitoring of physical processes in upper atmosphere, ionosphere and magnetosphere in “Ionosphere” space mission . . . . .	138
2.25	Sivokon V.P. Observations of atmospheric noise in the West Bering Sea zone . . . . .	140
2.26	Semakov N.N., Kovalev A.A., Pavlov A.F., Fedotova O.I. On the synchronicity of the characteristics of magnetic moment changes and movements of the magnetic pole according to INTERMAGNET magnetic observatories . . . . .	141
2.27	Tarasov S.P., Zhu Jianjun, Pivnev P.P., Voronin V.A., Korochentsev V.I. Operation of a multi-frequency parametric side-scan sonar in ice waveguide . . . . .	141
2.28	Varlamov I.I., Parnikov S.G., Ievenko I.B., Baishev D.G., Shiokawa Kazuo. Registration of synchronous geomagnetic pulsations and proton aurora during the substorm on March 1, 2017 . . . . .	142
2.29	Kozlov V.I., Baishev D.G., Pavlov E.A. Seasonal variations in natural potentials in the permafrost 2016–2021, Yakutsk . . . . .	143
2.30	Sycheva N.A., Sychev V.N. Seismic process of the Bishkek geodynamic proving ground (Northern Tien-Shan) . . . . .	144
2.31	Larionov I.A., Marapulets Yu.V., Mishchenko M.A. Simultaneous lithospheric-atmospheric signals of acoustic emission at “Karymshina” site in Kamchatka . .	145
2.32	Sycheva N.A. Source parameters of earthquakes of the Bishkek geodynamic proving (Northern Tien-Shan) .	146
2.33	Novikov V.A., Zeren Z. Space weather and earthquakes: An overview of the problem and future research . . . . .	147
2.34	Zagainova Iu. S., Gromov S.V., Gromova L.I. Start-time of SSC as a function of Universal Time and geographic coordinates for several geoeffective ICMEs . . . . .	148
2.35	Lukovenkova O.O., Solodchuk A.A., Shcherbina A.O. Study of acoustic emission signals registered at “Karymshina” observation point in 2017 (Kamchatka region) . . . . .	149

2.36	Bobrovsky V.S., Shitov A.V., Stoppa F. Synchronicity of underground electric variations, observed at stations in the cities of Gorno-Altaiisk and Chieti (Italy) . . . . .	150
2.37	Sheremetyeva O.V., Godomskaya A.N. The modes of magnetic field generation in a low-mode model of $\alpha\Omega$ -dynamo with $\alpha$ -generator varying intensity regulated by a function with an alternating kernel . . .	151
2.38	Rulenko O.P. The source of bay-like negative anomalies of the atmospheric electric field during the tectono-seismic process . . . . .	152
2.39	Khomutov S.Yu., Sapunov V.A., Denisov A.Y., Borodin P.B., Kudin D.V., Sidorov R.V., Bebnev A.S., Cherepanova T.A., Kotikov A.L., Kanonidi K.K., Baryshev P.E., Turbin Y.G. Vector Overhauser magnetometer POS-4: experience and prospects of application . . . . .	153
2.40	Zotov L.V., Marchukova O.V., Bizouard C., Sidorenkov N.S. Why Earth accelerates its rotation since 2016 . . . . .	154
<b>3</b>	<b>Physics of earthquake precursors</b>	<b>156</b>
3.1	Chen T. Abnormal near surface vertical atmospheric electrostatic field signal at several hours before Luanzhou 4.3Ms earthquake . . . . .	157
3.2	Dubrov M.N., Volkov V.A., Larionov I.A., Mrlina J., Polak V., Aleksandrov D.V. Application of spaced system of laser interferometers and tiltmeters for sharing the earthquakes precursory events . . . . .	157
3.3	Bogdanov V.V., Pavlov A.V. Estimation earthquake occurrence probability in Kamchatka region based on seismological and complex of ionospheric precursors . .	158
3.4	Tverdyi D.A., Parovik R.I., Makarov E.O., Firstov P.P. Hereditary mathematical Riccati model with delay for studying the dynamics of radon concentration in a storage chamber . . . . .	159
3.5	Kopylova G.N., Boldina S.V. Hydrogeofluid precursors: Relationship with earthquake parameters and conceptual models . . . . .	161

3.6	Bogdanov V.V., Pavlov A.V. Identification of ionospheric earthquake precursors in the Kamchatka region based on correlation analysis . . . . .	162
3.7	Makarov E.O., Firstov P.P., Kostylev D.V. Instruments and methodology for registering subsurface gases in Kamchatka and Sakhalin for the purpose of predicting earthquakes . . . . .	163
3.8	Pulinets S.A., Budnikov P.A., Pulinets M.S. Ionospheric precursors recognition technology on the geomagnetic disturbances background . . . . .	165
3.9	Bogomolov L.M., Boginskaya N.V., Sychev V.N. Mathematical arsenal of the self-developing processes model to analyze foreshock series and a probability of strong earthquake occurrence . . . . .	166
3.10	Gapeev M.I. Modeling of geoacoustic emission zones before strong earthquakes in Kamchatka that occurred in the period from 2019 to 2021 . . . . .	167
3.11	Bataleva E.A. On the dynamics of the electromagnetic parameters of the Northern Tien Shan lithosphere . . .	168
3.12	Surkov V.V. Physical mechanisms of non-seismic phenomena accompanying earthquakes: A review . . . .	169
3.13	Lyskova E.L., Sannikov K.Yu., Arzhanenkova A.N. Polarization analysis in radial anisotropy studies . . . .	170
3.14	Zenkin O.V. Relationship of major earthquakes with space events . . . . .	171
3.15	Parkhomov V.A., Khomutov S.Yu., Tsegmed B., Vedernikova T.I. Some aspects of the appearance of global geomagnetic signals as precursors of strong earthquakes . . . . .	172
3.16	Sychev V.N., Sycheva N.A., Kulkov D.S. Tsallis entropy in the analysis of seismological and experimental data .	173
3.17	Kopylova G.N., Kasimova V.A. Variations of background seismic noise in the Kamchatka peninsula region in 2011-2021: Relationship with strong earthquakes . . . . .	174
3.18	Surkov V.V., Pilipenko V.A. Whether variations in radon activity in a seismically active region can affect the ionosphere? . . . . .	175

<b>4 Energy transfer of solar wind-magnetosphere interaction: 30 years of cooperation between STELab, Nagoya University and Russian scientific organizations</b>	<b>176</b>
4.1 Dmitriev A.V. Geoeffective large-scale plasma jets in the magnetosheath . . . . .	177
4.2 Matzka J. Hpo, a hourly and half-hourly, open-ended, Kp-like index of geomagnetic activity . . . . .	177
4.3 Yoshikawa A. Integration study of modeling and global observation of magnetosphere–ionosphere–atmosphere system for investigation of coupling process in the space-terrestrial transition region . . . . .	178
4.4 Shiokawa K., Baishev D.G., Shevtsov B.M. Some histories of collaboration between STEL, Nagoya University and Russian scientific organizations . . . . .	179
4.5 Khalipov V.L., Leonovich A.S., Sibeck D.G. The impact of developed Alfvén turbulence of the solar wind magnetic field on processes in the Earth’s inner magnetosphere . . . . .	180
4.6 Makarov G.A. Variations in the components of the magnetospheric ring current according to the data on the geomagnetic indices SYM and ASY . . .	181
 <b>Author Index</b>	 <b>182</b>

ХII Международная конференция  
**СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ И ФИЗИКА  
ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

*Тезисы докладов*

---

**Научный редактор:** д.ф.-м.н. Марапулец Ю.В.

**Ответственный редактор:** к.ф.-м.н. Чернева Н.В.

**Редактор:** к.ф.-м.н. Ларионов И.А.

**Технический редактор:** к.ф.-м.н. Солодчук А.А.

**Верстка оригинала-макета:** к.ф.-м.н. Солодчук А.А.

**Научный комитет:**

Kazuo Shiokawa (Япония)	Сивоконь В.П. (Россия)
Wojciech J. Miloch (Норвегия)	Мандрикова О.В. (Россия)
János Lichtenberger (Венгрия)	Шевцов Б.М. (Россия)
Veneta Guineva (Болгария)	Сенкевич Ю.И. (Россия)
Рахмонов З.Р. (Узбекистан)	Богданов В.В. (Россия)
Дмитриев А.В. (Тайвань)	Хомутов С.Ю. (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 978-5-6045275-1-1



Утверждено к печати Ученым советом  
Института космофизических исследований и  
распространения радиоволн ДВО РАН  
23.09.2021.

Формат 60x84/16, бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 12.21. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Камчатпресс».

Заказ №.