

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ПОЛЯРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**ОТЧЕТ
о научно-исследовательской
и научно-организационной деятельности
за 2020 год**



Мурманск, Апатиты
2020

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
СТРУКТУРА ПГИ	6
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	8
1. Важнейшие результаты научных исследований	8
2. Основные результаты научных исследований	14
ТЕМА: Исследование солнечных и галактических космических лучей, и воздействия энергичных частиц на нижнюю ионосферу и атмосферу высоких широт совместно с другими геофизическими процессами	14
ТЕМА: Физические процессы в системе «солнечный ветер-магнитосфера-ионосфера» и их влияние на структуру и динамику высокоширотной ионосферы	26
ТЕМА: Изучение особенностей распространения крайне низкочастотных волн искусственного и естественного происхождения в высоких широтах (включая Арктическую зону)	34
ТЕМА: Разработка и совершенствование методов обработки данных и аппаратуры для их использования в высокоширотных радиофизических и геофизических исследованиях	38
ТЕМА: Исследование вариаций химического состава, электрических явлений, неоднородной пространственной структуры и динамических процессов в атмосферах Земли и других планетных тел	55
ТЕМА: Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли	71
3. Результаты завершенных проектов	79
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	82
1. Общая информация	82
2. Взаимодействие с международными организациями и государственными органами иностранных государств в научной сфере	82
3. Деятельность института в международных организациях	83
4. Взаимодействие с зарубежными научно-образовательными организациями/зарубежными странами в рамках проектной деятельности	83
НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	85
1. Общие сведения	85
2. Деятельность Ученого совета	85
3. Деятельность аспирантуры	86
4. Издательская деятельность	87
5. Изобретательская деятельность	88
6. Организация научных совещаний и конференций	89
7. Образовательная деятельность	92
8. Участие в популяризации естественнонаучных знаний	92
БИБЛИОГРАФИЯ РАБОТ ИНСТИТУТА	95
Зарубежные публикации	95
Публикации в российских рецензируемых журналах	96
Публикации в трудах международных конференций	98

Публикации в трудах российских конференций	98
Тезисы докладов на международных конференциях	100
Тезисы докладов на российских конференциях	101
Статьи, отправленные в печать	111
Монографии и сборники	114

ВВЕДЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт» (ПГИ), основанный в 1960 году для исследования физических процессов в области высоких широт (выше 67° с. ш.), находится в городах Мурманск и Апатиты Мурманской области (Кольский полуостров) РФ. Основные обсерватории ПГИ располагаются в населенных пунктах Апатиты, Ловозеро, Лопарская, Верхнетуломский, Туманный (Кольский полуостров) и Баренцбург (архипелаг Шпицберген), где проводятся регулярные наблюдения полярных сияний, космических лучей и геомагнитных пульсаций. Тематика научных исследований ПГИ соответствует основным направлениям фундаментальных исследований Программы фундаментальных научных исследований Российской академии наук. Научная и прикладная деятельность ПГИ включает в себя разработку и передачу пользователям технических инноваций для высокоширотных гео- и радио- физических наблюдений, мониторинг геомагнитных вариаций в широком частотном диапазоне, мониторинг космических лучей, мониторинг атмосферы Арктики и другие задачи в области физики высоких широт, что обусловлено местонахождением Института.

Основные направления исследований Института: исследование актуальных проблем физики и астрономии полярных сияний, выполнение прецизионных оптических измерений в области высоких широт; исследование современных проблем радиофизики и акустики, в том числе фундаментальных основ радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных явлений; исследование современных проблем физики плазмы, включая физику астрофизической плазмы (солнечный ветер) и низкотемпературной (ионосферной) плазмы; исследование современных проблем ядерной физики, включая астрофизические и космологические аспекты (физика космических лучей); исследование космического пространства, планет, Солнца и солнечно-земных связей.

В 2020 году научно-исследовательские работы в ПГИ выполнялись в соответствии с государственным заданием, утвержденным Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, грантов РФФИ (три гранта) и РНФ (один грант). Шесть тем научно-исследовательских работ выполнялись в рамках фундаментальных научных исследований. Пять из них – это основные темы НИР, запланированные на три года, и одна тема – проведение исследований на архипелаге Шпицберген (*«Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли»*).

Многолетнее плодотворное взаимодействие нашего Института с научными организациями Финляндии, Швеции, Норвегии, Болгарии, Чешской Республики, Китая сформировало прочные международные связи, а выполнение совместного гранта в 2019-2020 гг. позволило наладить новые контакты с коллегами из Японии.

Совместная работа с зарубежными научными организациями проводилась по основным научным направлениям института в области исследования космических лучей, изучения физических процессов в магнитосфере и высокоширотной ионосфере Земли, состава и динамики атмосферы высоких широт, изучения солнечно-земных связей.

Необходимо отметить, что в связи с пандемией, большая часть запланированной международной деятельности либо была перенесена на последующие годы, либо отменена.

Сотрудники Полярного геофизического института принимают активное участие в организации и проведении всероссийских и международных конференций. Так, с 10 по 13 марта 2020г. в ПГИ (г. Апатиты) проходил 43-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». В семинаре с докладами приняли участие более ста человек. В их числе 40 участников из других городов, из них не менее половины – молодые ученые. Среди участников были представители исследовательских институтов из Японии, Финляндии и Норвегии.

В связи с пандемией, остальные научные конференции 2020 года, проводимые Институтом, были отменены.

В 2020 г. в ходе издательской деятельности ПГИ были выпущены 4 сборника геофизических данных, публикуемых с 1996 года (в Internet с 2009г.), сборники тезисов докладов и трудов 43-го ежегодного Апатитского семинара «Физика авроральных явлений», а также подготовлены материалы по результатам Апатитского семинара (26 статей) для печати в журнале «Известия РАН».

На базе Института осуществляется образовательная деятельность по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по учебным дисциплинам: «Физика атмосферы и гидросферы», «Механика жидкости, газа и плазмы» и «Радиофизика»; формы обучения – очная и заочная; для иногородних поступающих в г. Апатиты имеется общежитие.

В 2020 г. руководитель сектора теоретического моделирования к.ф.-м.н. Мингалёв О.В. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук на тему «Описание крупномасштабных процессов в бесстолкновительной космической плазме и численное моделирование тонких токовых слоев». Еще три кандидатские диссертации сотрудников ПГИ находятся в стадии подготовки.

Большинство научных работ сотрудников Института написано с использованием данных приборов, расположенных на обсерваториях ПГИ и ведущих мониторинг различных геофизических явлений. Подробно о перечне объектов научно-исследовательской инфраструктуры можно узнать на сайте <http://pgi.ru/kagin/>.

СТРУКТУРА ПГИ

Научные подразделения:

- Сектор космических лучей (зав. сектором – к.ф.-м.н. Ю.В. Балабин)
- Лаборатория магнитосферно-ионосферных взаимодействий (зав. лабораторией к.ф.-м.н. А.Г. Яхнин)
- Сектор теоретического моделирования (зав. сектором – д.ф.-м.н. О.В. Мингалев)
- Лаборатория геофизических наблюдений (зав. лабораторией к.ф.-м.н. Я.А. Сахаров)
- Сектор оптических методов (зав. сектором – к.ф.-м.н. Ю.В. Федоренко)
- Лаборатория радиопросвечивания (зав. лабораторией к.ф.-м.н. Р.Ю. Юрик)
- Сектор радиофизических исследований нижней ионосферы (зав. сектором – к.т.н. А.Д. Гомонов)
- Лаборатория атмосферы Арктики (зав. лабораторией к.ф.-м.н. А.С. Кириллов)
- Сектор вычислительного эксперимента (зав. сектором – д.ф.-м.н., профессор В.С. Мингалев)

Обсерватории и полигоны:

- Обсерватория ПГИ «Ловозеро»
- Обсерватория ПГИ «Лопарская»
- Радиофизический полигон ПГИ «Верхнетуломский»
- Радиофизический полигон ПГИ «Туманный»
- Полигон ПГИ «Апатиты»
- Обсерватория ПГИ «Баренцбург»

Административно-хозяйственные подразделения:

Отдел кадров и аспирантуры (начальник отдела кадров - Е.М. Матвеева,
тел. (8152) 253942, e-mail: ok@pgi.ru)

Бухгалтерия (гл. бухгалтер – Т.В. Чурикова)

Канцелярия (зав. канцелярией – И.С. Кузьмина)

Производственно - хозяйственная служба ПГИ в гг. Мурманск, Апатиты

Руководство Института:

Директор - д.ф.-м.н. Б.В. Козелов

Заместитель директора по научной работе – к.ф.-м.н. К.Г. Орлов

Помощник директора по международному сотрудничеству – к.пед.н. Е.И. Скиотис

Зам. директора по общим вопросам – А.Н. Миличенко

Помощник директора по общим вопросам и инновациям – Е.А. Миличенко

Официальный сайт ПГИ: <http://pgia.ru/>

Кольская Арктическая геофизическая инфраструктурная сеть Полярного геофизического института (КАГИС ПГИ): <http://pgi.ru/kagin/>

АДРЕСА**ПОЛЯРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ, МУРМАНСК**

183010 г. Мурманск, ул.Халтурина, 15

тел.: (8152) 253958

факс: (8152) 253559

эл.почта: general@pgi.ru**ПОЛЯРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ, АПАТИТЫ**

184209 г. Апатиты, Академгородок, 26а

тел.: (81555) 76530

факс: (81555) 74339

эл.почта: admin@pgia.ru

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

1. Важнейшие результаты научных исследований

1. Активное электромагнитное зондирование земной коры в Арктике

По результатам впервые проведенного активного эксперимента по электромагнитному зондированию (ЭМЗ) литосферы полуостровов Средний и Рыбачий (Мурманская область) с применением мощного контролируемого источника электромагнитных волн крайне низкочастотного (КНЧ) диапазона были определены параметры геоэлектрического разреза земной коры переходной зоны Восточно-Европейский кратон - Западно-Арктическая платформа и построены глубинные модели электропроводности исследуемой области. Показана эффективность применения ЭМЗ с контролируемым источником и ограниченность метода магнитотеллурических (МТЗ) зондирований при проведении геофизических работ в сложных геологических условиях переходной зоны.

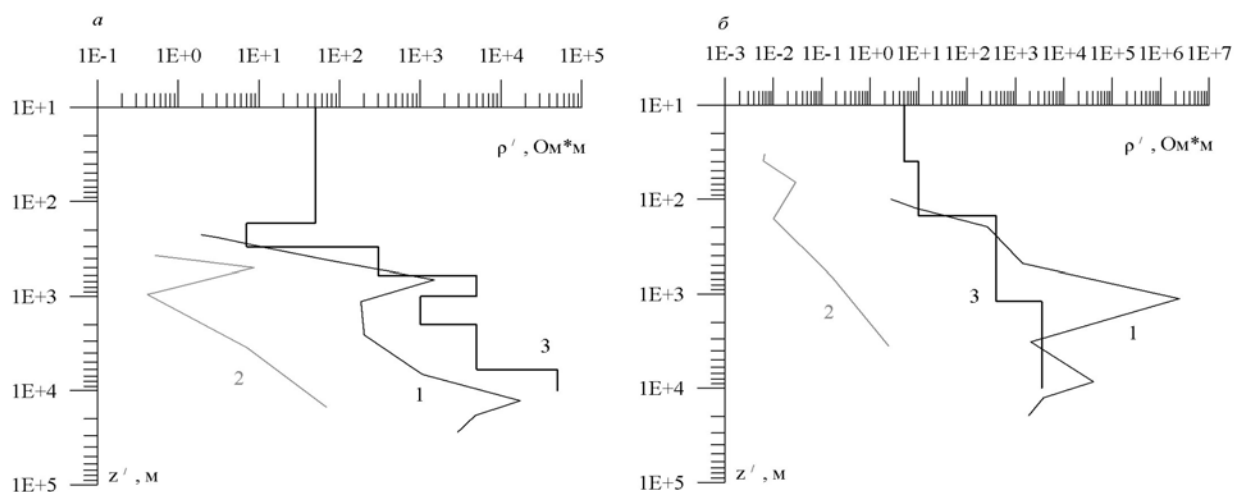


Рис. 1. Графики зависимости действующего сопротивления среды ρ' от действующей глубины z' , построенные по результатам дифференциальной трансформации Молочного-Ле Вьета: *а* – для точки наблюдения на полуострове Рыбачий, *б* – для точки наблюдения на полуострове Средний. Кривые 1 соответствуют результатам трансформации для данных ЭМЗ с контролируемым источником, кривые 2 соответствуют результатам трансформации для данных МТЗ, кривые 3 демонстрируют подобранные одномерные модели геоэлектрического разреза среды.

Электромагнитное зондирование с мощным контролируемым источником в районе полуостровов Средний и Рыбачий осуществлено впервые и является новым этапом в изучении особенностей глубинного строения переходной зоны от кристаллического Балтийского щита к осадочным породам южной окраины Баренцевоморской плиты. Результаты интерпретации экспериментальных данных хорошо согласуются с имеющейся геолого-геофизической информацией о строении литосферы в данном районе, полученной в ходе бурения и сейсмических исследований. На рис. 1 приведены модели геоэлектрических разрезов, построенные для южной части полуострова Рыбачий (*а*) и для полуострова Средний (*б*). Из рис. 1 видно, что кривые МТЗ сильно искажены вследствие влияния тектонических разломов. Таким образом, можно сделать вывод о

целесообразности применения ЭМЗ с мощным контролируемым источником для исследования глубинной структуры электропроводности литосферы в сложных геологических условиях переходной зоны Восточно-Европейский кратон - Западно-Арктическая платформа.

Публикации:

1. Любчик В.А., Шипилов Э.В., Юрик Р.Ю. Первые результаты экспериментального электромагнитного зондирования земной коры на полуостровах Средний и Рыбачий // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2020. №17. С.334-338

2. Любчик В.А. Исследование строения литосферы высокоширотных районов Западно-Арктической континентальной окраины по результатам эксперимента FENICS-2019 // Известия РАН (серия физическая), 2021, т.3. Принята к печати.

Исполнители: Любчик В.А.

2. Радиофизический метод определения нейтральной температуры атмосферы на высотах мезосферы, основанный на измерениях частот резонансных колебаний атмосферы

Предложен радиофизический метод определения нейтральной температуры, основанный на использовании измерений частот резонансных колебаний атмосферы. Результаты анализа показали возможность использования спектров плотности мощности частично отражённой обыкновенной волны для идентификации и определения резонансных периодов волн в атмосфере на высотах мезосферы, а также возможность вычисления нейтральной температуры по этим данным. Достоинством этого метода является то, что данные можно получать вне зависимости от погодных условий в атмосфере.

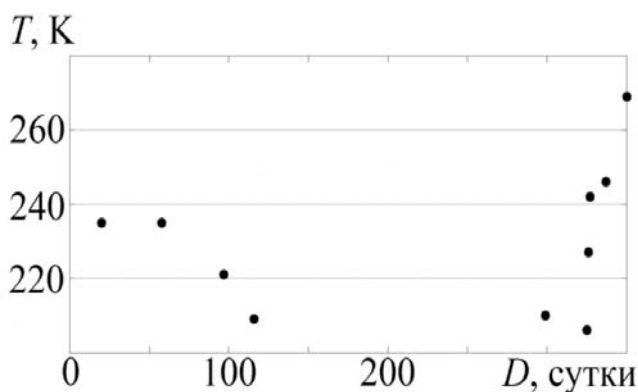


Рис. 2. Нейтральная температура на высоте 75 км для различных сезонов 2015 г. в зависимости от дня года D

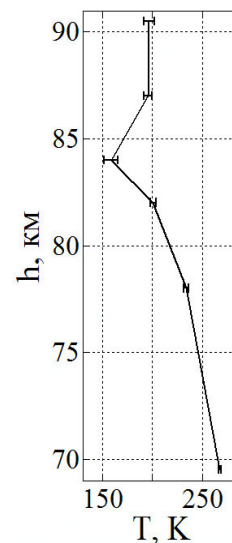


Рис. 3. Изменение нейтральной температуры по высоте в 21:48 UT 15 августа 2015 г.

Для исследований был использован радар частичных отражений Полярного геофизического института. На рисунках 2 и 3 представлены примеры полученной нейтральной температуры: на высоте 75 км для дней года D (рис. 2) и высотный профиль нейтральной температуры для 15 августа 2015 г. в 21:48 UT, полученный во время существования полярного мезосферного летнего эхо.

Публикации:

1. Черняков С.М., Турянский В.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЧАСТИЧНЫХ ОТРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЗОСФЕРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ // Известия РАН (серия физическая), 2021, т.3. Принята к печати.

2. Cherniakov S.M., Turyansky V.A. Variations in mesospheric temperature during Polar Mesospheric Summer Echo // Physics of Aurora Phenomena. 43rd Annual Seminar, 10-13 March 2020. Proceedings. Apatity: PGI, 2020

Исполнители: Черняков С.М.

3. Самый длинный ряд среднемесячной температуры воздуха в северной Арктике

На основе метеорологических измерений в поселке Баренцбург (Шпицберген) и данных ближайших к нему метеорологических станций и реанализа, создан композитный ряд среднемесячной температуры воздуха в Баренцбурге, начинающийся с декабря 1911 г. Созданный композитный ряд является самым длинным и полным в северной Арктике и может быть использован для оценок долговременных изменений климата.

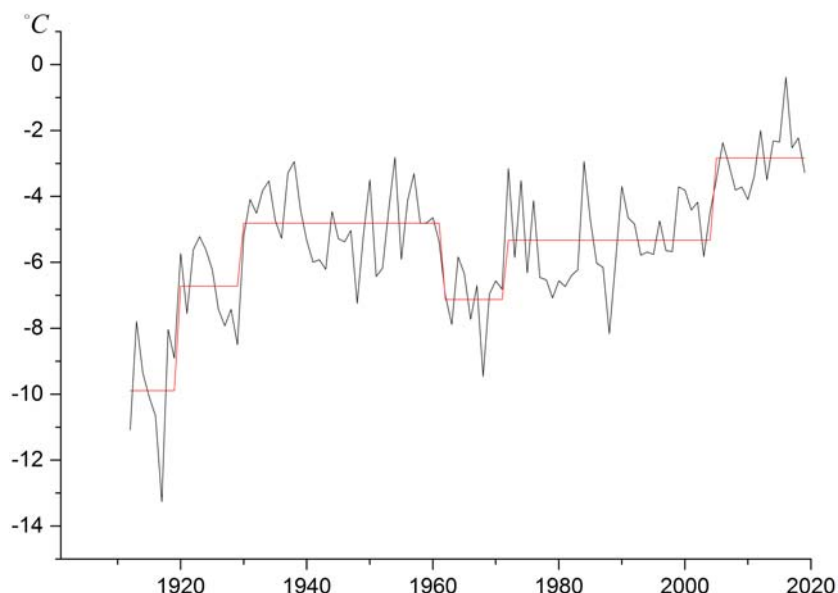


Рис. 4. Среднегодовая температура в Баренцбурге; смещение красной линии показывает годы со статистическим значимым сдвигом в ряду среднегодовой температуры.

Публикация:

1. Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на Российской станции в поселке «Баренцбург» (Шпицберген) // Российская Арктика. 2020. №9. с. 30-40.

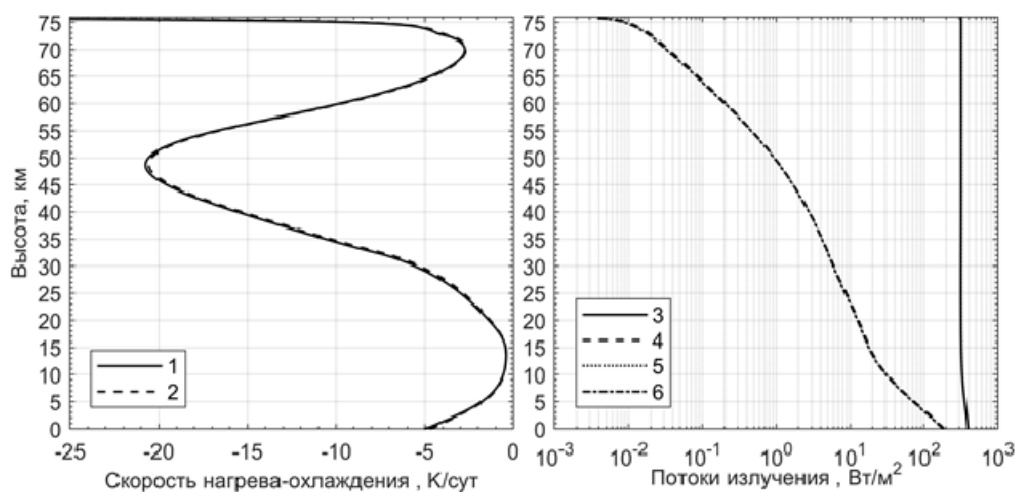
2. Демин В.И., Иванов Б.В. Восстановление длинных рядов температуры воздуха в Баренцбурге для оценки климатических изменений на архипелаге Шпицберген // Physics of Auroral Phenomena. Proceedings of the 43rd Annual Seminar (ISSN 2588-0039). P.162-166 DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43

Исполнители: Демин В.И. (ФГБНУ «Полярный геофизический институт»), Иванов Б.В. (АНИИ Росгидромета, Санкт-Петербургский государственный Университет, Институт Физики Атмосферы РАН).

4. Расчет собственного излучения атмосферы в ИК-диапазоне

Разработан блок расчета собственного излучения атмосферы в ИК-диапазоне для модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли, который имеет важные преимущества перед аналогичными блоками других моделей.

Созданный блок обеспечивает хорошую точность расчета как в нижней, так и в средней атмосфере как при отсутствии облаков, так и при наличии облачных слоев с большой оптической толщиной, в отличие от радиационных блоков лучших современных моделей. Программная реализация блока использует параллельные вычисления на современных графических процессорах и обеспечивает приемлемое быстродействие и масштабируемость для расчетов на нескольких десятках графических процессорах.



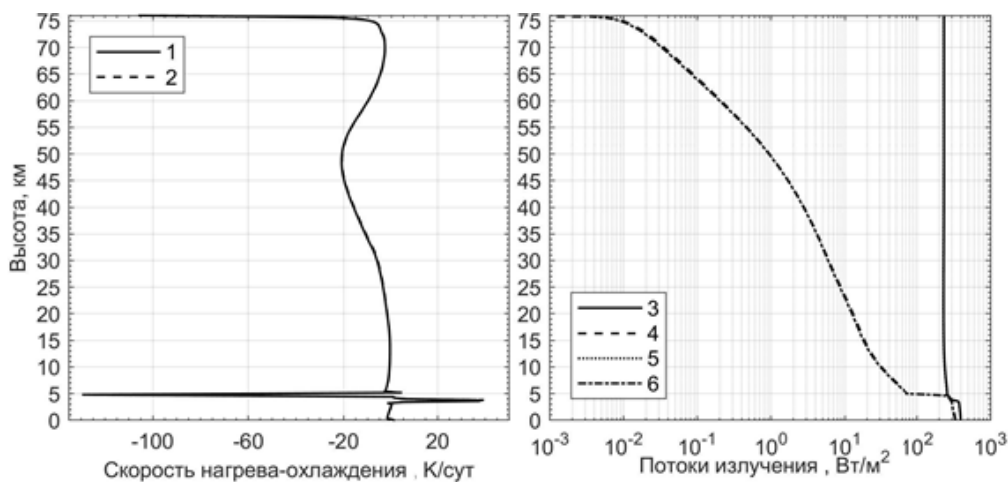


Рис. 5. Потоки восходящего и нисходящего собственного излучения в частотном диапазоне 10-2000 см^{-1} и скорости нагрева-охлаждения атмосферного газа за счет этих потоков в безоблачной атмосфере (вверху) и при наличии среднего облачного слоя с большой оптической толщиной (внизу). Кривая 1 - рассчитанная с использованием параметризации скорость нагрева-охлаждения, кривая 2 - эта же скорость, полученная с помощью эталонных расчетов. Кривые 3 и 4 - рассчитанная с использованием параметризации потоки восходящего и нисходящего собственного излучения, кривые 5 и 6 - эти же потоки, полученные с помощью эталонных расчетов.

Работа выполнена совместно с сотрудниками Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

Публикации:

Четверушкин Б.Н., Мингалев И.В., Федотова Е.А., Орлов К. Г., Чечеткин В.М., Мингалев В.С. Расчет собственного излучения атмосферы в модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли // Математическое моделирование, 2020, Т. 32, № 2, С. 77-100. DOI: 10.20948/mm-2020-02-05

Исполнители: Мингалев И.В., Федотова Е.А., Орлов К.Г. Работа выполнена совместно с сотрудниками Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

5. Эффект подавления ОНЧ шума интенсивными свистящими атмосфериками

Эффект подавления ОНЧ шума интенсивными свистящими атмосфериками с эхо сигналами, ранее наблюдавшийся только на Земле, впервые обнаружен на спутниках Van Allen Probes в магнитосфере.

Анализ измерений на спутниках во время подавления шума показал, что эхо-свисты и ОНЧ шум распространялись практически вдоль внешнего магнитного поля, а пич-угловые распределения энергичных электронов имели поперечную анизотропию. Расчеты инкремента для свистовых волн, выполненные по данным спутников Van Allen Probes, показали, что эхо-свисты распространялись через область генерации ОНЧ шума в экваториальной области. Сделан вывод, что уменьшение интенсивности ОНЧ-шума связано с изотропизацией функции распределения энергичных электронов в результате их взаимодействия с эхо свистами и соответствующим уменьшением инкремента в диапазоне частот ОНЧ шума.

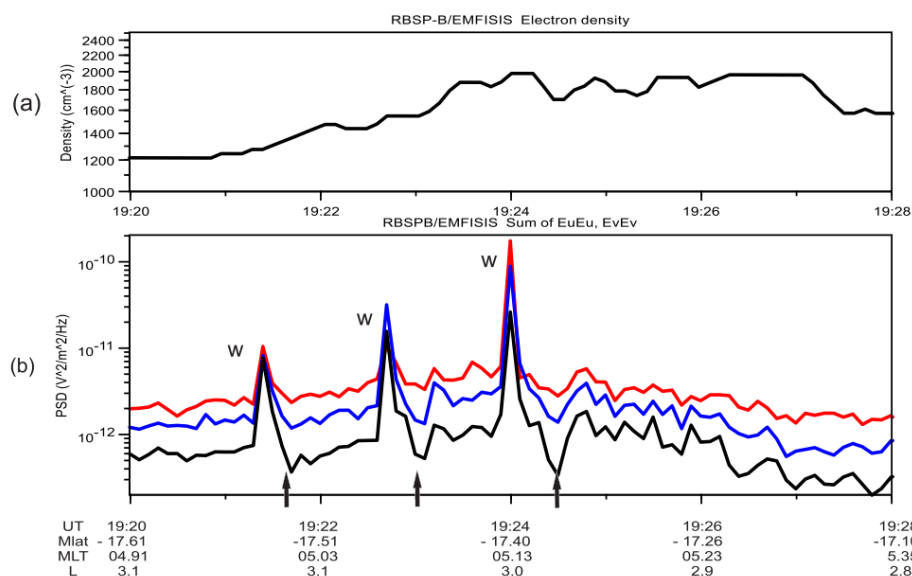


Рис. 6. Подавление ОНЧ шума интенсивными свистами на спутнике Van Allen Probes 22.12.2014. (a) Плотность холодной плазмы, измеренная на спутнике VAP-B. (b) Спектральные плотности мощности электрического поля на VAP-B в трех частотных полосах 3758-4218 Гц (красная линия), 4730-5309 Гц (голубая линия), 5309-5957 Гц (черная линия). Видны три изолированных пика спектральной амплитуды, связанные со свистами (W), после которых регистрируется уменьшение амплитуды сигнала ОНЧ шума. (обозначены стрелками).

Свисты регистрировались в интервале 19:21:30 -19:24:00 UT, то есть в области градиента плотности холодной плазмы, который может обеспечивать распространение ОНЧ шума и эхо сигналов свистов с малыми углами волновой нормали, для которых циклотронное взаимодействие свистовых волн и энергичных электронов наиболее эффективно.

Публикации:

1. Shklyar, D. R., Manninen, J., Titova, E. E., Santolik, O., Kolmašová, I., & Turunen, T. (2020). Ground and space signatures of VLF noise suppression by whistlers // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, e2019JA027430. <https://doi.org/10.1029/2019JA027430>

2. Д.Р. Шкляр, Е.Е. Титова, Ю. Маннинен, Т.В. Романцова. Инкременты свистовых волн в магнитосфере по измерениям потоков энергичных электронов на спутнике VAN ALLEN PROBE A // *ГЕОМАГНЕТИЗМ И АЭРОНОМИЯ*, 2020, том 60, No 1, с. 49-60

Исполнители: Титова Е.Е. (ПГИ), Шкляр Д.Р. (ИКИ)

Работа выполнена при поддержке гранта № 294931 Академии наук Финляндии и гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-02-00179.

2. Основные результаты научных исследований

ТЕМА: Исследование солнечных и галактических космических лучей, и воздействия энергичных частиц на нижнюю ионосферу и атмосферу высоких широт совместно с другими геофизическими процессами (0227-2019-0007)

В рамках настоящей темы работали сотрудники сектора космических лучей и сектора радиофизических исследований нижней ионосферы. Руководители темы: к.ф.-м.н. Ю.В. Балабин, к.т.н. А.Д. Гомонов.

В 2020 г. в ПГИ продолжался мониторинг космических лучей на двух станциях, расположенных в Апатитах и в Баренцбурге. Главной задачей станций космических лучей является обеспечение непрерывных и однотипных измерений. Используется набор детекторов, регистрирующий КЛ различных типов. Указанные станции являются высокоширотными и поставляют информацию о потоках радиации, поступающей в высокоширотную атмосферу.

Процессы, происходящие в нижней ионосфере, имеют существенное значение для понимания механизмов и явлений в системе тропосфера-стратосфера-мезосфера-термосфера, а также системе ионосфера-магнитосфера. В первую очередь они сказываются на условиях распространения радиоволн.

Земля подвержена значительному воздействию Солнца и межпланетной среды. Это воздействие проявляется в различных природных и технических процессах. Изучение этого влияния ведутся одновременно в двух направлениях: во-первых, наблюдение и сбор экспериментальных данных, во-вторых, численное моделирование процессов взаимодействия и сравнение выполненных наблюдений и рассчитанных эффектов. При этом постоянное повышение точности измерений и получение новых данных позволяют совершенствовать созданные модели и полнее учитывать различные эффекты.

В 2020 г. были получены следующие **основные результаты**:

1. В течение 2020 г. продолжались наблюдения и регистрация потоков космических лучей на двух станциях нейтронных мониторов в Апатитах и Баренцбурге (Шпицберген). Данные нейтронного монитора в Апатитах в реальном времени стабильно поступали в сеть Интернет. Интенсивность космических лучей достигла максимума в конце 2019 года и весь год держалась на высоком уровне. 24-й цикл солнечной активности закончился, с середины 2020 г. начался новый, 25-й цикл. (п.13 ФИГАН, институт-исполнитель ПГИ).

Космические лучи на ст. Апатиты регистрируются с помощью трех детекторов, чувствительных к разным энергиям. Стандартный НМ имеет энергетический порог ~50 МэВ, регистрирует нейтроны с энергиями выше порога. Регистрация нейтронов умеренных (до 1 МэВ) энергий проводилась с помощью бесвинцового нейтронного монитора 4-НМ-64. На основе счетчиков СНМ-18 собран детектор тепловых нейтронов. Три этих детектора объединены в один комплекс, регистрирующем нуклонную компоненту космических лучей. В Баренцбурге регистрация космических лучей выполняется стандартным НМ и детектором нейтронов умеренных энергий (до 1 МэВ). В общий доступ в режиме реального времени представляются данные из Апатитов. Кроме того, эти данные передаются в мировую базу данных НМ. Данные Баренцбурга в

графическом виде также доступны пользователям, числовые данные предоставляются по специальному запросу.

По измерениям лаборатории Солнца в ИЗМИРАНе, минимум 24-го цикла был пройден в 2019 и к середине 2020 г уверенно начался новый 25-й цикл. Начало нового цикла определяется по изменению полярности глобального магнитного поля Солнца.

Интенсивность космических лучей за период 2009-2020 гг. приведена на рис.1. Этот период охватывает глубокий минимум 2009 г и минимум 2020 г. Прежний минимум активности Солнца наблюдался в 2009 г. и был необычно глубокий, а космические лучи достигли максимального значения с начала наблюдения на нейтронных мониторах. Минимум солнечной активности в 2020 г. оказался таким же глубоким (см. рис.2.): вторая половина 2019 г. характеризуется полным отсутствием пятен в течение нескольких месяцев. В 2009 г. наблюдалось подобное. Однако, уровень космических лучей в 2019-2020 г оказался заметно меньше, чем в 2009, как это видно на рис.1. по Апатитам и другим станциям.

Как можно заметить по рис.1, в Баренцбурге наблюдается обратное: максимум космических лучей 2020 выше, чем в 2009. Этот эффект Баренцбурга отмечен на ряде станций, расположенных по всему земному шару от низких широт до полярных областей в обоих полушариях. Эффект Баренцбурга в общем наблюдается на 1/5 всех НМ. Этот факт позволяет заключить, что причина не является аппаратурной или локальной. В 2020 продолжалось изучение эффекта Баренцбурга. Пока не удастся дать непротиворечивого объяснения обнаруженному различию на ряде НМ. Разные времена достижения максимума потока космических лучей разных энергий указывают на сложные процессы, происходящие в гелиосфере на фазе минимума.

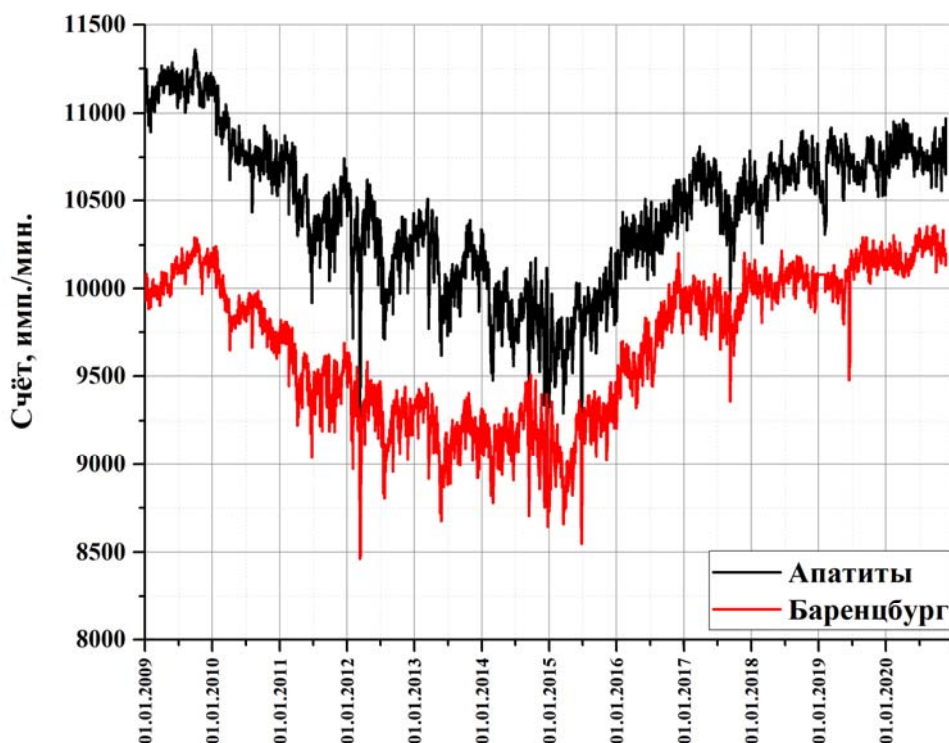


Рис. 1. Темп счета нейтронных мониторов (стандартные НМ) в Апатитах и Баренцбурге в 2009-2020 г. Суточное усреднение.

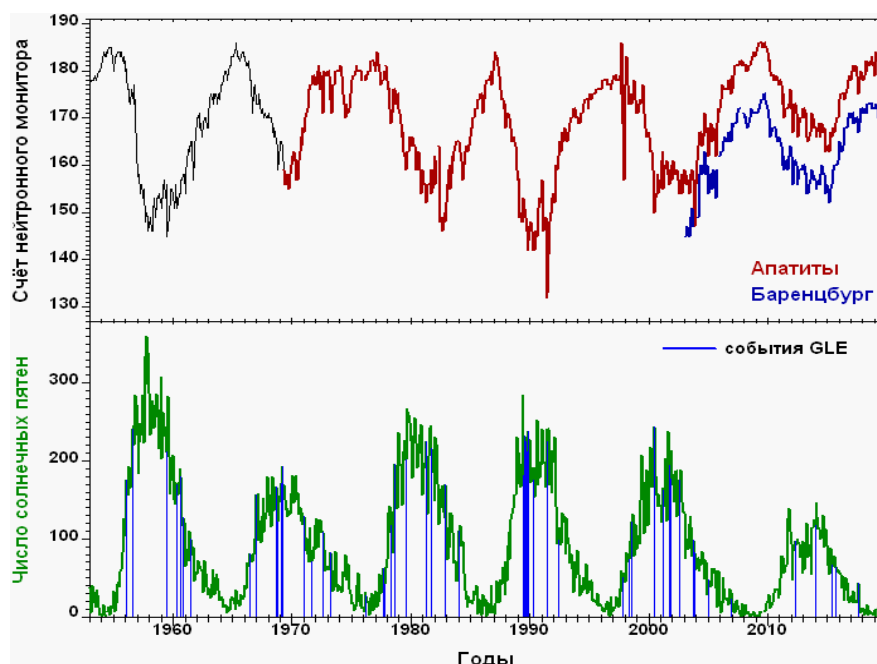


Рис. 2. Интенсивность космических лучей по данным НМ на протяжении шести последних циклов солнечной активности (вверху) и показатель солнечной активности (число солнечных пятен) за тот же период (внизу). Вертикальные синие линии на нижней панели показывают моменты событий GLE (солнечных космических лучей). 24-й цикл оказался самым бедным на события GLE, причем, два последних события были на пределе чувствительности НМ (1-2 %).

Рис. 2 и 3 позволяют сравнить минимумы 2009 и 2020 г. Низкое число пятен наблюдалось со второй половины 2017 до конца 2020, т.е. около 2.5 лет. Тогда как такой же низкий уровень числа пятен в прошлый минимум держался с середины 2008 до конца 2009, т.е. 1.5-2 года. Следовательно, прошедший минимум был не только глубоким, но и очень длинным.

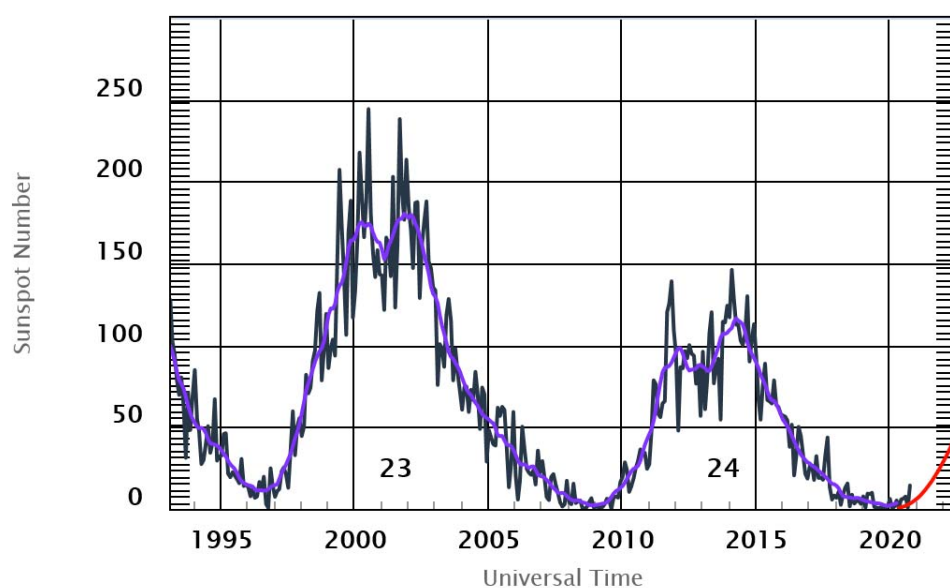


Рис. 3. Показатель солнечной активности (число солнечных пятен) за период 1993-2020 гг. Синяя линия – среднемесячные данные. Синяя линия – сглаженные среднемесячные данные.

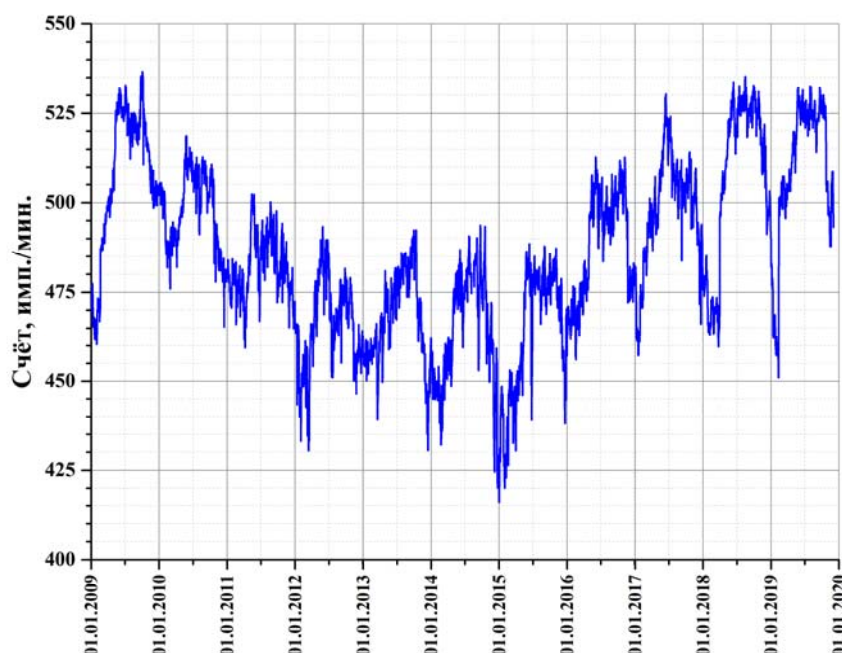


Рис. 4. Бессвинцовая секция НМ в Апатитах. Представлены данные за 2009-20 г. Суточное усреднение.

Рис.4 показывает, что поток нейтронов тепловых и умеренных энергий (до 1 МэВ) имеет значительные сезонные вариации, которые дополнительно модулируются солнечной активностью. Четко видна такая же 11-летняя вариация, как и на стандартном НМ. Годовая вариация связана с появлением и сходом снежного покрова.

Публикации:

Ю. В. Балабин, А. В. Белов, Р. Т. Гущина, В. Г. Янке, И. В. Янковский. О вариациях потока космических лучей в конце 24-го цикла солнечной активности. Подано в печать, Изв.РАН.

Руководитель и отв.исп.	к.ф.-м.н.	Ю.В. Балабин.
исп.	к.ф.-м.н.	Б.Б. Гвоздевский.
исп. м.н.с.		А.В. Германенко.
исп. м.н.с.		Е.А. Маурчев.
исп. вед. электроник		Л.И. Щур.
исп. инженер		Е.А. Михалко.

2. В течение 2020 г. выполнялся мониторинг потоков вторичных космических лучей в других компонентах: гамма-излучения (0.02-8 МэВ), электронно-мюонной компоненты с энергиями (>5 МэВ). Лаборатория космических лучей ПГИ продолжает долговременный эксперимент по наблюдению вариаций гамма-излучения, обусловленными метеорологическими процессами в атмосфере. Цель эксперимента - выявление взаимного воздействия космических лучей и метеорологических процессов в атмосфере. (п.13 ФИГАН, институт-исполнитель ПГИ).

Электромагнитная компонента вторичных космических лучей (гамма-излучение) сильно поглощается воздухом. Поэтому поступающая на детекторы низкоэнергичная часть вторичных космических лучей по большей части возникает непосредственно в

нижней атмосфере. Ее генерация производится вторичными высокоэнергичными космическими лучами. Низкоэнергичная часть чувствительна к состоянию атмосферы и происходящим в ней метеорологическим процессам. Лаборатория космических лучей ПГИ устанавливает детекторы на различных станциях, а в Апатитах и Баренцбурге проводятся комплексные непрерывные измерения потоков низкоэнергичных вторичных космических лучей разной природы. Регистрируются возрастания гамма-фона, происходящие при осадках. Прошедший год в Апатитах зарегистрировано небольшое число таких событий, всего одно событие достигло амплитуды ~ 50 %. Эти возрастания свидетельствуют о наличии особого механизма воздействия космических лучей на атмосферные процессы. При этом отсутствует сколь-нибудь заметное увеличение потока заряженной компоненты вторичных космических лучей, которая также фиксируется. Для того, чтобы разобраться в механизме генерации этого дополнительного излучения, необходимо проводить широкий мониторинг. Помимо указанных двух станций ПГИ наблюдения за фоновым низкоэнергичным гамма-излучением проводятся в пяти пунктах.

Есть некоторые признаки, что частота событий возрастания гамма-фона тоже зависит от солнечной активности. Для того, чтобы сделать однозначный вывод, необходимо набрать данные за полный период солнечной активности. Поэтому в настоящее время ведется сбор данных о вариациях и возрастаниях гамма-фона, а также расширяется сеть наблюдений.

На основе многолетних наблюдений сделан однозначный вывод, что в Баренцбурге (арх. Шпицберген) возрастания примерно в 2 раза меньше по амплитуде и в три раза реже случаются. В текущем году этот вывод подтвердился. Анализ возрастаний на других станциях и сравнение показывают, что на других станциях, расположенных в средней полосе, события меньше числом и амплитудой по сравнению с Апатитами. Возможно, это связано с изменениями характеристик различных атмосферных процессов при переходе в полярную область. Например, происходит уменьшение количества гроз, понижается высота нивальной зоны и др.

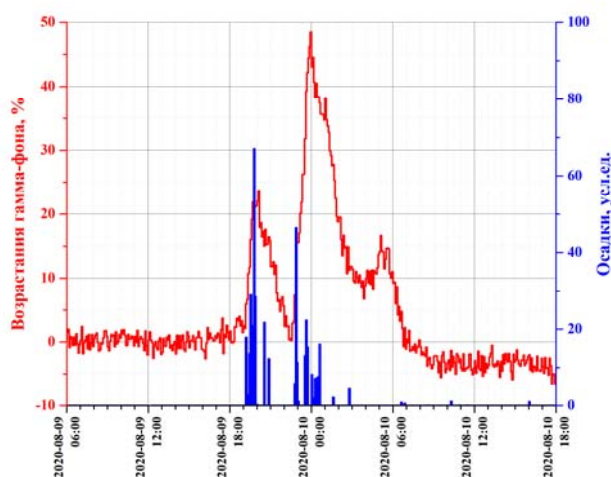


Рис. 5. Событие возрастания гамма-фона на ст. Апатиты летом 2020 г. Согласно данным осадкомера, это был типичный летний ливень. Используется пятиминутное усреднение.

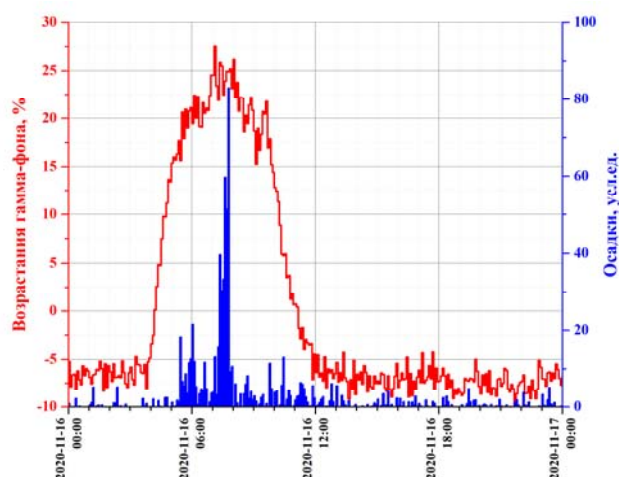


Рис. 6. Событие возрастания гамма-фона на ст. Апатиты осенью 2020 г. Согласно пометкам и данным осадкомера, это был дождь со снегом. Пятиминутное усреднение.

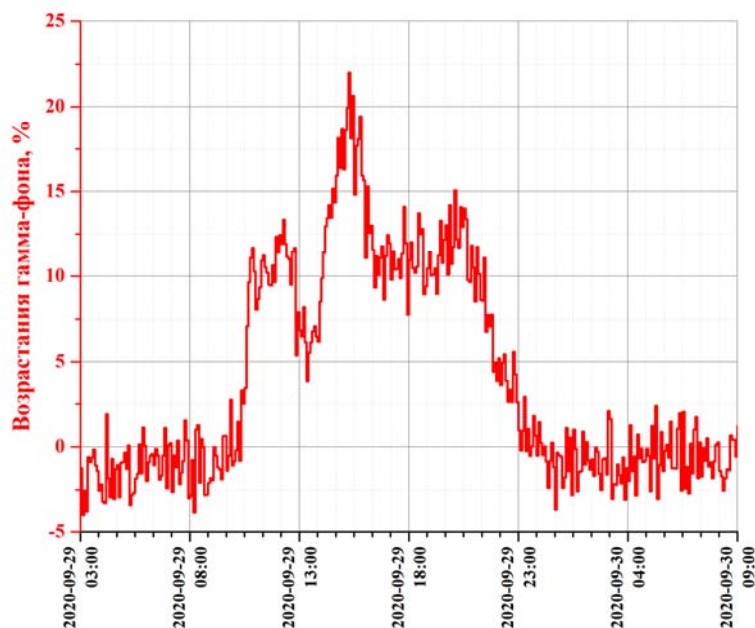


Рис.7. Наиболее крупное возрастание гамма-излучения в Баренцбурге осенью 2020 г. Используется пятиминутное усреднение.

Руководитель и отв.исп.	к.ф.-м.н.	Ю.В. Балабин.
исп.	к.ф.-м.н.	Б.Б. Гвоздевский.
исп. м.н.с.		А.В. Германенко.
исп. м.н.с.		Е.А. Маурчев.
исп. вед. Электроник		Л.И. Щур.
исп. м.н.с.		Е.А. Михалко.

3. В лаборатории Космических лучей собран и запущен в эксплуатацию мюонный телескоп для мониторинга вариаций потоков заряженных частиц: мюонной и электронно-позитронной компоненты вторичных космических лучей. С началом работы мюонного телескопа на станции космических лучей в Апатитах мониторинг выполняется во всех компонентах вторичных космических лучей. (п.13 ФИГАН, институт-исполнитель ПГИ).

На станции космических лучей в Апатитах регистрация нуклонной компоненты космических лучей ведется в нескольких диапазонах энергий тремя различными приборами. Вариации электромагнитной компоненты (гамма-фон) регистрируются двумя детекторами. Однако, заряженная компонента до недавнего времени вовсе не фиксировалась, затем для ее регистрации применялся небольшой детектор на счетчиках Гейгера с маленькой эффективной площадью. Ценность его данных была скорее качественной. Наконец, запущен в работу мюонный телескоп.

Мюонный телескоп собран по классической схеме: два слоя сцинтилляторов, разделенных слоем свинца. Верхний сцинтиллятор регистрирует потоки всех заряженных частиц: мюонов, электронов и позитронов. Проходят через слой свинца и попадают во второй сцинтиллятор только высокоэнергичные мюоны, легкие частицы (электроны и позитроны) полностью поглощаются свинцом. Рабочими каналами служат сигналы с верхнего сцинтиллятора (поток всех заряженных частиц) и сигнал от схемы совпадений импульсов верхнего и нижнего сцинтилляторов, соответствующие пролету мюона через оба слоя.

Пока мюонный телескоп состоит из двух пластин пластикового сцинтиллятора площадью 0.25 м^2 каждая и толщиной пластика 5 см. Расстояние между пластинами 0.5 м, толщина свинцового слоя – 0.1 м. Телескоп собран по модульной схеме, что позволит в дальнейшем легко нарастить площадь верхнего и нижнего детекторов. Однако, уже сейчас темп счета мюонного телескопа позволяет использовать пятиминутные данные с хорошей точностью (рис. 8).

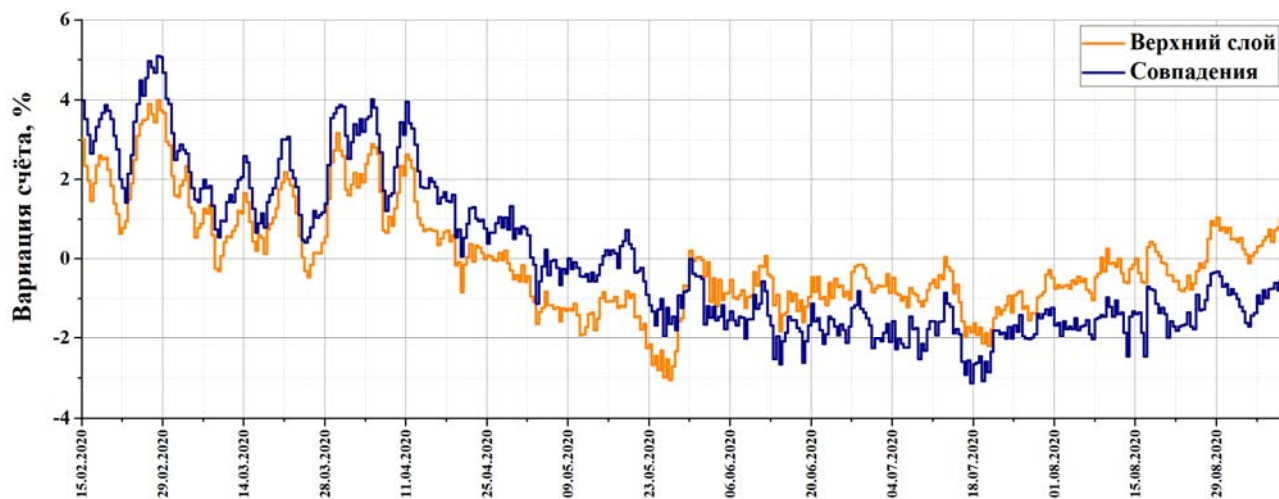


Рис. 8. Профиль счета мюонного детектора.

Мюонный телескоп будет использоваться не только для мониторинга потоков космических лучей, но и для поиска связи вариаций заряженных частиц с возрастаниями гамма-фона при осадках.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00626.

Публикации:

Yu. V. Balabin, B. B. Gvozdevsky, A. V. Germanenko, E. A. Mikhalko, E. A. Maurchev, L. I. Shchur.
A Compact Muon Telescope for Monitoring Secondary Cosmic Ray Fluxes // Instruments and Experimental Techniques. 2020. V. 63. P. 860–863. DOI:
<https://doi.org/10.1134/S0020441220060032>.

Руководитель и отв.исп. к.ф.-м.н.
исп. м.н.с.
исп. м.н.с.
исп. м.н.с.
исп. вед. электроник

Ю.В. Балабин.
А.В. Германенко.
Е.А. Михалко.
Е.А. Маурчев.
Л.И. Щур.

4. Созданный в лаборатории космических лучей ПГИ программный комплекс RUSCOSMICS эффективно применяется для выполнения модельных экспериментов, заключающихся в исследовании и расчете ионизации атмосферы Земли на различных высотах и широтах при воздействии. Задавались условия как спокойного Солнца, соответствующего минимуму активности, так и события в солнечных космических лучах (вспышки на Солнце). Расчеты выполнялись при разном ядерном составе первичных космических лучей. (п.13 ФИГАН, институт-исполнитель ПГИ).

При помощи численного моделирования прохождения протонов космических лучей через атмосферу Земли получены результаты для двух независимых событий GLE (42 и 44), произошедших в различное время и имеющих существенно отличающиеся энергетические

спектры первичных частиц. Проведено детальное исследование параметров каскадов вторичных частиц, представленных в виде энергетических спектров, высотных кривых, а также вклада в скорость образования пар ионов.

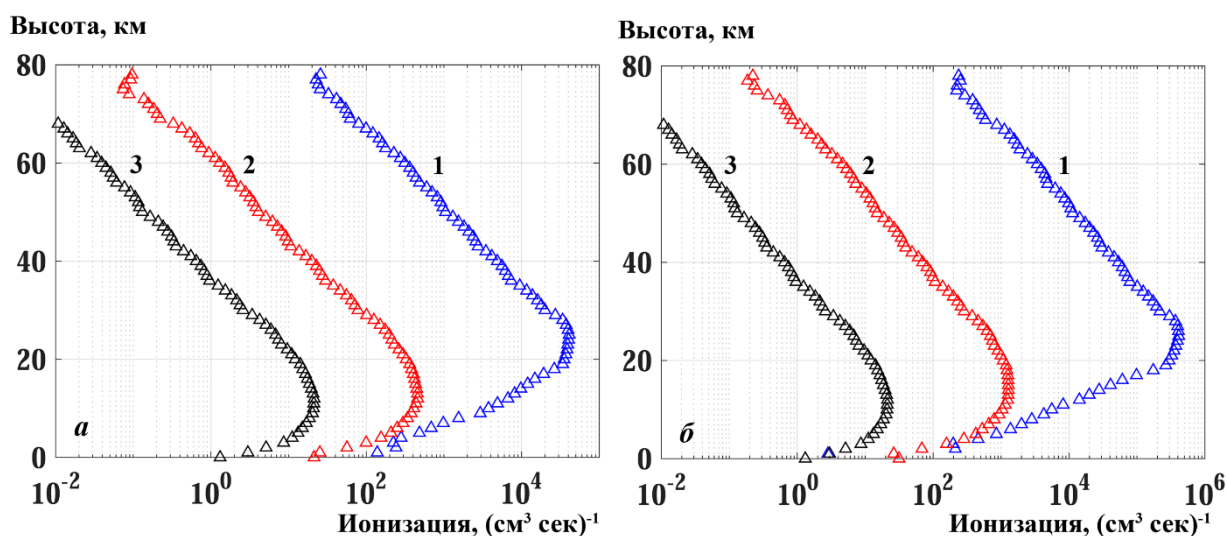


Рис. 9. Высотные профили скорости ионизации атмосферы Земли частицами КЛ во время события GLE № 42 (а) и GLE № 44 (б) в случае медленной и быстрой компонент. Данные получены путем моделирования процессов при помощи программного комплекса RUSCOSMICS. 1 – медленная компонента СКЛ, 2 – быстрая компонента СКЛ, 3 – ГКЛ.

Проведено моделирование прохождения частиц космических лучей через атмосферу Земли для двух разных условий параметризации геометрии и энергетического спектра. В первом случае входные данные соответствуют солнечным космическим лучам, и расчеты проводились для всех значений географической широты и долготы. Во втором случае производится оценка вклада ядер галактических космических лучей в скорость ионизации, при этом на данном этапе рассматривается только локальная область атмосферы.

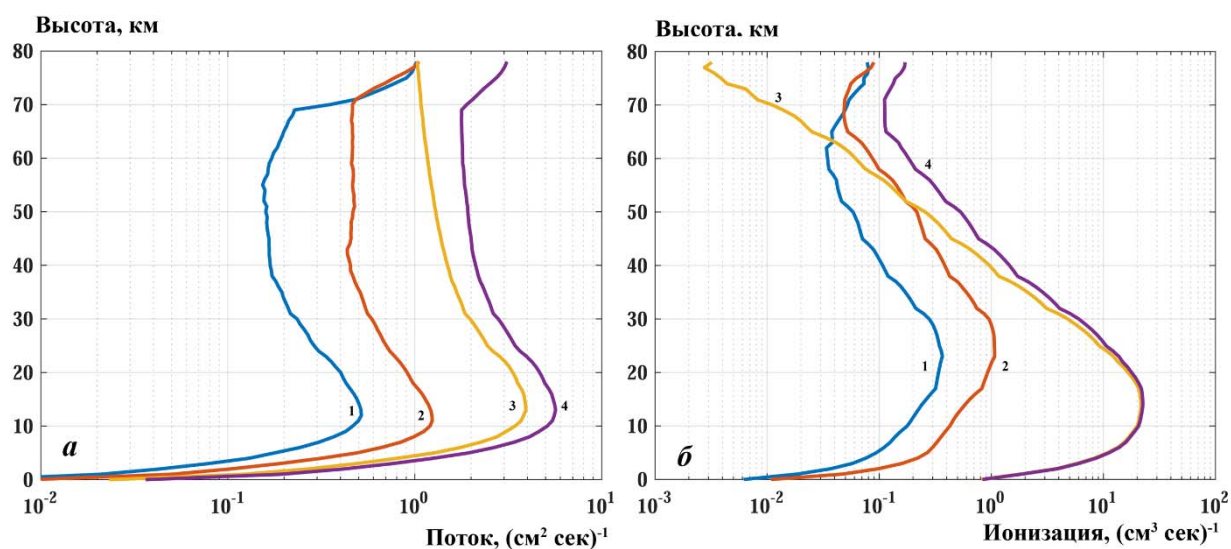


Рис. 10. Высотные профили потоков вторичных частиц (а) и скорости ионизации вещества атмосферы Земли (б), полученные в результате моделирования прохождения первичных частиц ГКЛ. 1 – ядра азота, 2 – ядра кислорода, 3 – протоны, 4 – суммарно.

Полученные в этой работе данные позволяют оценить, насколько солнечные вспышки, генерирующие протоны СКЛ, которые достигают магнитосферы Земли, могут влиять на изменение общей картины ионизации атмосферы. Как количественным, так и качественным

показателем здесь являются представляемые нами профили ионизации. Эта информация может быть полезна не только в фундаментальных исследованиях, позволяющих лучше понять процесс развития каскадов частиц в атмосфере Земли, но и в прикладных задачах, таких как радиационная безопасность. Одной из наиболее актуальных тем на сегодня остается оценка дозы, получаемой при совершении трансатлантических перелетов.

Основной целью при расчете прохождения ядер с $Z > 2$ через атмосферу Земли является количественная оценка вклада этих частиц в скорость образования ионов в нижней атмосфере для области высоких широт. Моделирование показало, что в абсолютной величине скорости ионизации имеется прирост начиная от высот в 30 км (в 2-3 раза), принимающий значительную величину на 70-80 км (до двух порядков). Увеличение потока вторичных частиц в полтора - два раза наблюдается на протяжении всех высот. Предположительно, такое различие профилей обусловлено большим числом образующихся частиц при разрушении первичного ядра.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00626.

Публикации:

1. Е. А. Маурчев, Ю. В. Балабин, А. В. Германенко, Б. Б. Гвоздевский. Моделирование прохождения протонов СКЛ через атмосферу Земли для событий GLE42 и GLE44, Изв. РАН. сер. Физ., 2020 г., подано в печать.

2. Е. А. Маурчев, Ю. В. Балабин, А. В. Германенко, Е. А. Михалко, Б. Б. Гвоздевский. Расчет скорости ионизации во время события GLE с использованием глобальной модели атмосферы Земли и оценка вклада в этот процесс частиц галактических космических лучей с $Z > 2$, Изв. РАН. сер. Физ., 2020 г., подано в печать.

Руководитель и отв.исп. к.ф.-м.н.
исп. м.н.с.

Ю.В. Балабин.
Е.А. Маурчев.

5. Разработаны новые портативные детекторы заряженных частиц на основе счетчика Гейгера, предназначенные для дополнительной верификации расчетов прохождения космических лучей через атмосферу Земли. Показаны результаты в виде сравнения высотных профилей скорости счета заряженных частиц, полученных в результате моделирования и проведения реальных экспериментов. (п.13 ФИГАН, институт-исполнитель ПГИ).

В ходе работы был разработан и собран портативный счетчик Гейгера, работающий в режиме измерения интенсивности потока заряженных частиц, оснащенный современной системой сбора данных на базе функционального микроконтроллера ESP32, а также написано приложение на ОС Android, позволяющее в автоматическом режиме собирать данные, которые потом могут быть легко размещены при помощи API на любом подходящем сервере. Основной особенностью устройства является то, что в качестве основного канала связи для передачи информации используется модуль BluetoothLowEnergy. Совокупность использованных решений обеспечивает пользователя инструментом измерения, работающим в фоновом режиме и который, может использоваться как мобильная, так и стационарная система регистрации фонового излучения. Авторы предполагают, что вследствие наличия у них возможности изготовления такого оборудования удастся построить сеть, наблюдающую за фоновым потоком вторичных частиц космического излучения для точек с различными географическими координатами.

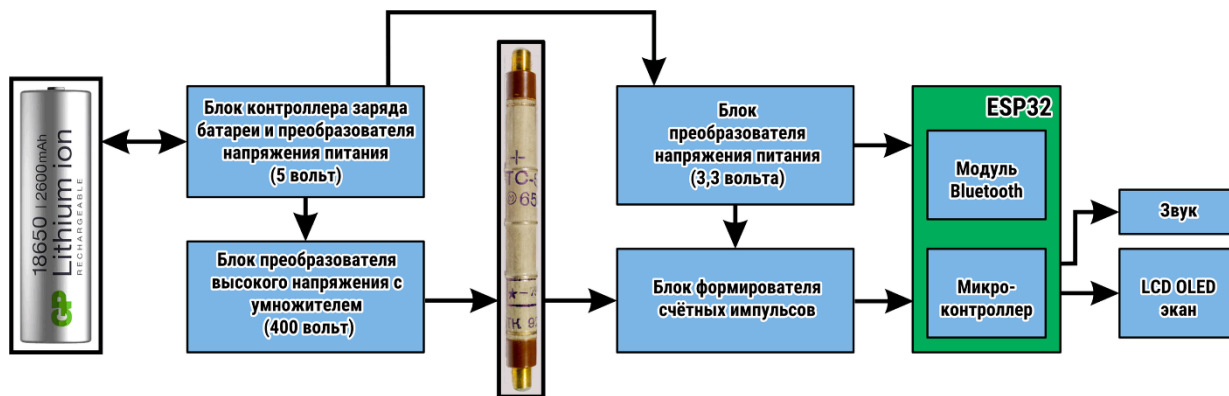


Рис. 11. Принципиальная блок-схема компактного счетчика Гейгера, предназначенного для дополнительной верификации вычислений прохождения КЛ через атмосферу Земли.

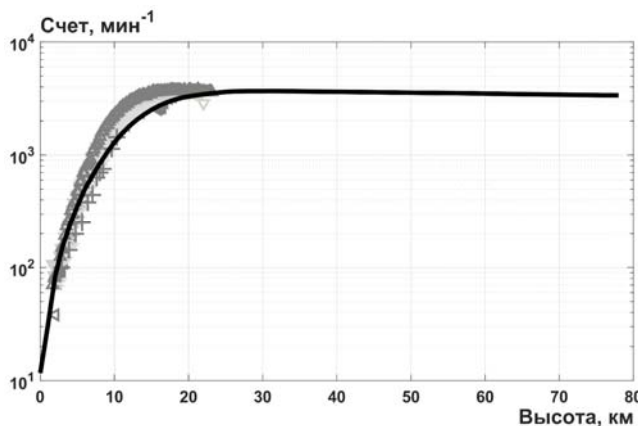


Рис. 12. Сравнение высотных профилей скорости счета, полученных во время запуска шаров-зондов для разных периодов времени и проведения измерений на самолете, с результатами моделирования прохождения протонов ГКЛ. Треугольник влево – измерения на зонде (04.01.2010), треугольник вправо - измерения на зонде (11.01.2010), треугольник вниз - измерения на зонде (18.01.2010), треугольник вверх - измерения на зонде (20.01.2010), крестики - измерения на аэробусе 2018(67,95 с.ш., 32,8 в.д., набор высоты), сплошная линия – данные расчетов.

Публикации:

Е. А. Маурчев, Ю. В. Балабин, А. В. Германенко. Компактные счетчики заряженной компоненты как дополнительное средство верификации моделирования прохождения КЛ через атмосферу Земли, Изв. РАН. сер. Физ., 2020 г., подано в печать.

Руководитель и отв.исп. к.ф.-м.н.
исп. м.н.с.

Ю.В. Балабин.
Е.А. Маурчев.

6. Проведены измерения амплитуд частичных отражений обыкновенной и необыкновенной радиоволн от ионосферы на коротковолновом радиолокаторе радиофизического полигона «Туманный» Мурманской области и создан банк данных регистраций амплитуд радиоотражений и электронной концентрации за 2020 г.

В России постоянно действующая установка частичных отражений ПГИ по исследованию нижней ионосферы единственная и выполняемые работы являются уникальными. Выполняемые работы соответствуют мировому уровню.

Научный руководитель: к.т.н. А. Д. Гомонов

Ответственный исполнитель: вед. электроник Е. Б. Васильев, н.с. О. Ф. Оглоблина

7. Построены суточные картины пространственно-временных распределений амплитуд отражений двух магнитоионных компонент сигнала и электронной концентрации за 2020 г.

Научный руководитель: к.т.н. А. Д. Гомонов

Ответственный исполнитель: н.с. О. Ф. Оглоблина

8. Оценены вариации мезосферной нейтральной температуры во время полярного мезосферного летнего эхо.

Полярное мезосферное летнее эхо (англ. Polar Mesospheric Summer Echoes, PMSE) - интенсивное отражение радиоволн, которое чаще всего происходит в полярной нижней ионосфере летом на интервале высот 80–90 км вблизи мезопаузы. Особые условия для образования PMSE возникают на высотах полярной летней мезопаузы, которая в этих широтах летом является самым холодным регионом земной атмосферы. Между исследователями этой области атмосферы существует согласие, что в этой области формируются условия для отражения радиоволн при низких температурах. Вечером 15 августа 2015 г., начиная с 20:30 UT, над Кольским полуостровом наблюдались серебристые облака, которые затем появились и над радаром, по данным радара появление PMSE на высотах 83-87 км отмечено в 21:15 UT. Расчет высотного профиля нейтральной температуры был выполнен для 21:48 UT, в середине периода стабильного существования PMSE. Для расчета спектров использовались односекундные данные амплитуды частично отраженной обыкновенной волны за период, который включает полчаса до и полчаса после 21:48 UT. Спектры временных вариаций амплитуды частично отраженной обыкновенной волны рассчитывались по временным рядам амплитуды на каждой из высот отражения сигнала. По экспериментальным амплитудным спектрам идентифицировались спектральные составляющие, соответствующие атмосферным резонансам, и рассчитывалась нейтральная температура. Расчетный высотный профиль нейтральной температуры для 21:48 UT показан на рис. 13. Горизонтальные линии на профиле температуры показывают ошибки получения температуры.

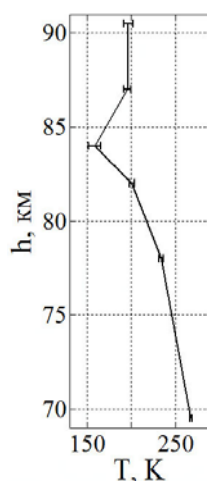


Рис. 13. Изменение нейтральной температуры по высоте в 21:48 UT

Проанализировано поведение амплитуды частично отраженной обыкновенной радиоволны на частоте 2.66 МГц радара частичных отражений Полярного геофизического института во время появления полярного мезосферного летнего эхо 15 августа 2015 г. Для рассмотренного случая, используя предложенный радиофизический метод, был рассчитан

высотный профиль мезосферной нейтральной температуры. Значения температуры испытали заметное уменьшение до 160 К на высотах вблизи мезопаузы.

Подобная работа выполнена впервые и не имеет аналогов ни в России, ни за рубежом.

Ответственный исполнитель работы н.с. Черняков С.М.

В работе принимал участие научный сотрудник лаб. 401 Турянский В.А.

Научная новизна результатов и их значимость

Мониторинг космических лучей (КЛ) продолжает ряд непрерывных и однотипных наблюдений на нейтронных мониторах. Нейтронный монитор в Апатитах является одним из старейших. Усилия сектора космических лучей направлены на то, чтобы наблюдения не прерывались и были достоверными. С помощью непрерывных долговременных измерений могут быть определены различные долговременные (вековые) тренды. Наличие новых приборов и обеспечение их бесперебойной работы повышает ценность данных. Комплексный подход дает возможность выявлять тонкие процессы взаимодействия КЛ и атмосферы Земли. Созданный в ПГИ программный пакет расчета прохождения КЛ в атмосфере на всех высотах от 0 до 80 км позволяет моделировать воздействие КЛ на атмосферу и различные системы. В области исследования нижней ионосферы высоких широт полученные результаты являются новыми, отвечающими современному уровню исследований. Они способствуют дальнейшему прогрессу в понимании протекающих процессов в нижней ионосфере в различных гелиогеофизических условиях.

Возможность практического применения

Полученные результаты могут быть использованы в разных областях. Разработанный мобильный комплекс позволяет создавать временные автономные и мобильные пункты для измерения вариаций радиационного фона в труднодоступных местах: в горах, около вулканов; то есть там, где предполагается наличие фоновых вариаций в результате геофизических процессов. Созданный программный комплекс может использоваться для расчета воздействия энергичных потоков частиц на технические системы. Результаты исследований структуры нижней ионосферы, будут использованы для уточнения теоретических моделей D-области и могут быть применены для оценки волновой активности в нижней ионосфере высоких широт и прогнозирования высокоширотного распространения радиоволн.

Заключение

Работы, запланированные на 2020 год, выполнены в полном объеме. Результаты опубликованы или направлены в печать; они были доложены на российских и международных конференциях. Исследования в рамках утвержденной темы продолжаются в соответствии с планами фундаментальных научных исследований.

ТЕМА: Физические процессы в системе «солнечный ветер-магнитосфера-ионосфера» и их влияние на структуру и динамику высокоширотной ионосферы (0227-2019-0004)

В рамках настоящей темы работали сотрудники лаборатории магнитосферно-ионосферных взаимодействий и сектора теоретического моделирования. Руководители темы: д.ф.-м.н. В.Г. Воробьев, к.ф.-м.н. А.Г. Яхнин.

Проводилась разработка моделей авроральных высыпаний, исследование процессов в магнитосфере и ионосфере Земли и их физических механизмов.

В 2020 г. были получены следующие **основные результаты**:

1. Данные низко-высотных спутников DMSP F6 и F7 показывают, что давление высыпавшихся ионов в областях ионосферных проекций низкоширотного граничного слоя (*LLBL*) и структурированных высыпаний аврорального овала (*AOP*) увеличивается с ростом динамического давления солнечного ветра. При низком уровне магнитной активности распределение давления в *LLBL* по местному геомагнитному времени (MLT) демонстрирует ярко выраженное локальное увеличение давления в полуденном секторе $\sim 11-14$ MLT, в то время как в области *AOP* давление по MLT распределено достаточно равномерно. В результате этого в полуденном секторе существует значительная разность давлений между областями *LLBL* и *AOP*, которая может свидетельствовать о наличии значительных радиальных градиентов (желоба" давления плазмы) в полуденном секторе магнитосферы.

Исполнители от ПГИ: В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина

Соисполнитель: Антонова Е.Е., НИИЯФ МГУ

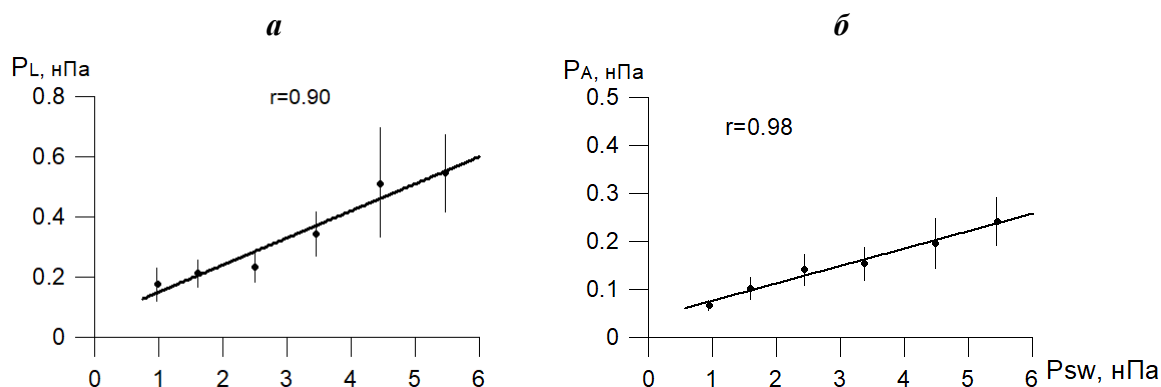


Рис. 14. Зависимость ионного давления в *LLBL* и *AOP* от динамического давления солнечного ветра (P_{sw}) секторе 11-13 MLT при низком уровне магнитной активности ($AL > -200$ нТл) иллюстрирует рис. 14а и 14б соответственно. На рисунке представлены данные, усредненные в каждом интервале динамического давления по 1 нПа. Сплошная линия на рис. 14а соответствует уравнению регрессии $P_L = 0.10 P_{sw} + 0.06$, а на рис. 14б - уравнению: $P_A = 0.036 P_{sw} + 0.030$.

Распределение ионного давления по MLT в области высыпаний аврорального овала достаточно равномерно в полуденном секторе. Разность давлений между областями *LLBL* и *AOP* ($\Delta P = P_L - P_A$) иллюстрирует рис. 16. С увеличением динамического давления солнечного ветра в полуденном секторе существенно увеличивается разница в давлении между высыпаниями граничного слоя и высыпаниями овала полярных сияний. При $P_{sw} = 6$ нПа разность давлений не только соизмерима, но и превышает уровень давления в самой области *AOP*.

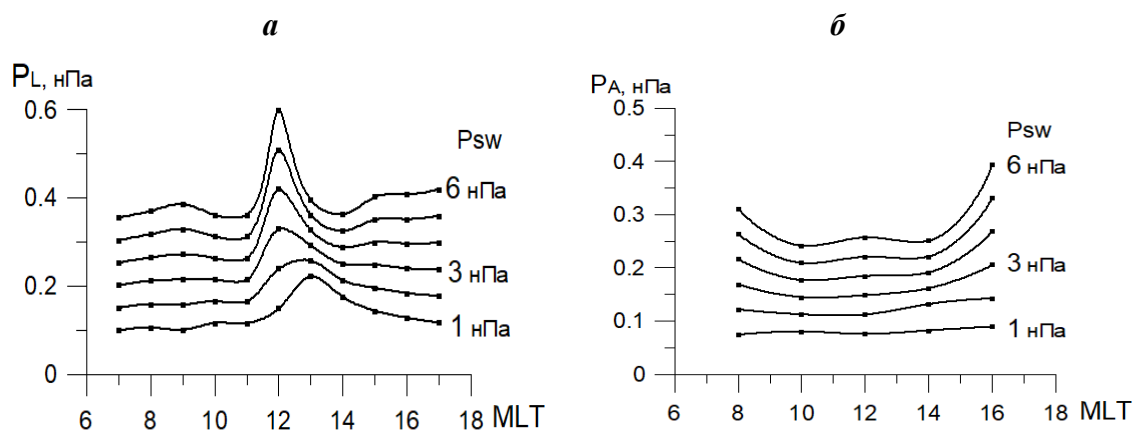


Рис. 15. Распределение ионного давления в *LLBL* (а) и *AOP* (б) по MLT при разных уровнях динамического давления солнечного ветра (от 1.0 нПа до 6.0 нПа). Точки на графиках соответствуют уравнениям регрессии, которые были получены для всех, показанных на рисунке, секторов MLT. Данные в 12:00 MLT соответствуют уравнению регрессии для сектора 11:00-13 MLT. Затем аналогичные линейные уравнения $P=P(P_{sw})$ были получены для всех 2-х часовых интервалов MLT со сдвигом на 1 час в восточном и западном направлениях (12:00-14:00, 13:00-15:00...12:00-10:00, 11:00-09:00 MLT и т.д.). (а) демонстрирует ярко выраженное локальное увеличение ионного давления в зоне высыпаний *LLBL* в полуденном секторе, величина которого растет с увеличением P_{sw} . При $P_{sw}=6$ нПа величина пика P_L примерно в два раза превышает уровень давления в соседних секторах MLT, что существенно выше величины стандартного среднеквадратичного отклонения, типичного для наших массивов данных.

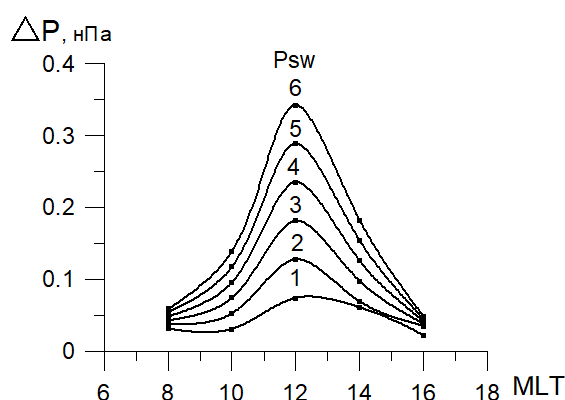


Рис. 16. Разность давлений между областями *LLBL* и *AOP* ($\Delta P=P_L-P_A$)

Разность давления между этими областями может свидетельствовать о наличии значительных радиальных градиентов, "желоба" давления плазмы, в полуденном секторе магнитосферы. Поведение ионных высыпаний указывает на то, что по направлению к Земле от подсолнечной магнитопаузы достаточно высокое давление в области *LLBL* сначала может быстро уменьшаться к уровню давления в области проекции *AOP*, а затем начинается более плавный естественный рост давления с уменьшением расстояния до Земли. Радиальные масштабы такой вариации давления можно примерно оценить по ширине областей высыпаний *LLBL* и *AOP* (1° широты соответствует ~ 1 Re), которая при B_z ММП >0 составляет $\sim 2^\circ$ широты каждая.

Публикация:

Воробьев В.Г., Ягодкина О.И., Антонова Е.Е. Давление ионов в различных областях авроральных высыпаний дневного сектора // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 60. № 6. С. 740–750. doi:10.31857/S0016794020060140. 2020.

2. Классификационный анализ результатов наблюдений, выполненный с использованием искусственной нейронной сети типа слоя Кохонена, позволяет отождествлять выделенные классы суббуревых магнитных возмущений в авроральной зоне с конкретной комбинацией возмущенных параметров солнечного ветра и ММП в магнитных облаках солнечного ветра.

Исполнители: В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина

Исследованы минутные данные в периоды наблюдений 33 быстрых магнитных облаков (МО). Для каждого интервала МО анализировались параметры солнечного ветра, компоненты вектора межпланетного магнитного поля (ММП), а также значения SYM/H и AL индексов магнитной активности.

Классификационные эксперименты проводились с использованием различных комбинаций параметров. Первая комбинация параметров отвечает причинам событий (характеристики межпланетной среды). С этой комбинацией работала ИНС №1, которая классифицирует параметры, относящиеся к МО. В результате получаем классы причин. Вторая комбинация параметров имеет отношение к последствиям событий (наземная геомагнитная активность). Эта комбинация обрабатывается ИНС №2, в результате чего мы получаем классы последствий. Полученные классы причин и классы последствий сопоставлялись между собой по предлагаемой специальной методике, реализующей алгоритм, по которому вычисляется отношение числа многократно повторяемых результатов деления P на классы к общему числу рассматриваемых событий $S=33$. Проведение ~2000 численных нейросетевых экспериментов дало среднее отношение $P/S \sim 66\%$. Это означает, что при независимой классификации причин и следствий 22 из 33 событий надежно попадают в какой-то один класс.

Поиск оптимального числа классов по интенсивности магнитной активности в авроральной зоне указывает на наличие 4-х классов событий, соответствующих слабым (1), умеренным (2) и сильным (3) возмущениям. Четвёртый класс рассматривается как коллектор нестандартных случаев.

В результате выполненной классификации установлены три класса причинно-следственных комбинаций.

Первый класс содержит динамику индекса AL отвечающую уединенным слабым суббурям с экстремумами до -800 нТл при медленно изменяющейся B_z компоненте магнитного поля в теле МО. При этом интегральная величина B_z меняется со скоростью порядка 2 нТл в мин.

Второй класс отвечает умеренным проявлениям суббуревой активности в динамике индекса AL в виде уединенных суббурь или серий суббурь с экстремумами до -1600 нТл. Он содержит в качестве причины резкие изменения B_z компонент в теле МО со скоростью изменения интегральной величины B_z в интервале 7 - 11 нТл в мин.

Третий класс соответствует экстремальным проявлениям суббуревой активности в виде серий суббурь с экстремальными значениями $|AL| > 2300$ нТл. Он содержит резкие изменения B_z компоненты в теле ММО, как и у второго класса, но со значительным ростом величины ΣNV^2 с темпом $3 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-2}$ в мин.

В результате исследований сделан вывод, что использование в качестве входных параметров ИНС комбинаций параметров позволяет определять уровни ожидаемой интенсивности индекса AL с точностью до ~70%.

Публикация:

Barkhatov N.A., Vorobjev V.G., Revunov S.E., Barkhatova O.M., Revunova E.A., Yagodkina O.I. Neural network classification of substorm geomagnetic activity caused by solar wind magnetic clouds // J. Atm. S-Ter. Phys. 205. 105301. doi:10.1016/j.jastp.2020.105301. 2020

3. На основе анализа большого комплекса наземных и спутниковых данных (магнитных данных долготной цепи российских авроральных станций и сети магнитометров IMAGE, дополненных наблюдениями динамики полярных сияний в Апатитах и данными спутников THEMIS-D и THEMIS-E, находившихся в полуночной магнитосфере на $r \sim 8.5-10.3$ Re) подробно исследована пространственно-временная динамика суббури 24 декабря 2014 г. в интервале с ~16:00 до ~17:00 UT.

Показано, что моменты регистрации фронтов диполизации и инъекции энергичных электронов в магнитосфере наблюдались вблизи моментов внезапного усиления активности сияний (уярчения авроральных дуг, брейкапа и появления WTS). Несмотря на редкую сеть наблюдений в Сибири, удалось проследить развитие суббури от точки начала, на долготе ~ 50°E, до региона Скандинавии, на долготе ~ 30°E, рассчитать скорость движения WTS и нескольких предвестников суббури - «аврорального рога» и «бусинок».

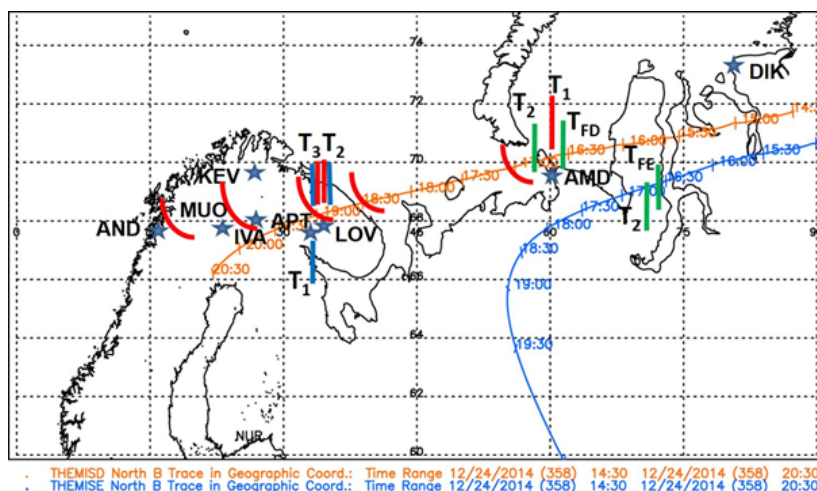


Рис. 17. Проекция орбит THD (красная линия) и THE (синяя линия) для 24 декабря 2014 года в 14:30 - 20:50 UT с обозначениями расположения магнитных станций (синие звездочки). Схематично показаны моменты развития суббури по: спутниковым данным - T_{FE} , T_{FD} , T_2 (зеленые линии); магнитным наземным данным - T_1 , T_2 , T_3 (красные линии); данным камеры всего неба - T_1 , T_2 , T_3 (синие линии).

Спутники THE и THD находились в полуночном секторе магнитосферы на расстоянии $r \sim 8.5-10.3$ Re, и, как показано на рисунке, в это время они пролетали над Сибирью по направлению к Кольскому полуострову.

Получен уверенный вывод о динамике суббури: определено начало суббури между спутниками THE и THD, в районе Амдермы, удалось проследить особенности распространения возмущений на Запад, наши оценки скоростей распространения WTS и так называемого «аврорального рога» (дуга впереди WTS), подтвердили значения, полученные в предыдущих работах. Удалось также определить и рассчитать скорость нескольких

предвестников суббури: 1) узкая слабая дуга, вытянутая по направлению Восток-Запад; 2) «бусинки» в предбрейкаповой дуге; 3) «авроральный рог» перед WTS.

Публикация:

Despirak I.V., Kozelova T.V., Kozelov B.V., Lubchich A.A. Westward propagation of substorm by THEMIS and ground-based observations // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2020, V. 206, № 105325. DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105325.

Исполнители: Дэспирак И.В., Козелова Т.В., Козелов Б.В., Любич А.А.

4. Рассмотрено взаимодействие электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн с энергичными протонами, инжектированными во время суббури, в вечернем секторе магнитосферы. По данным спутников RBSP (Van Allen Probes) рассчитаны коэффициенты питч-угловой диффузии протонов и определены режимы диффузии в каждый момент времени. Зарегистрированные низкоорбитальными спутниками серии POES изотропные потоки на энергиях, соответствующих рассчитанным резонансным энергиям, подтверждают наличие режима сильной диффузии в области источника высыпаний.

Публикации:

Т. А. Попова, А. Г. Демехов, А. Г. Яхнин. ПРОТОННЫЕ ВЫСЫПАНИЯ И ЭМИЦ ВОЛНЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СУББУРЕВОЙ ИНЖЕКЦИЕЙ // Известия РАН. Серия физическая (в печати).

5. По данным измерений потоков протонов на низкоорбитальных спутниках определены области развития ионно-циклотронной неустойчивости и их связи с плазмопаузой и «остаточным» плазмосферным плюмом в период 00-08 UT 11 сентября 2017 г.

Положение и динамика этих областей относительно наземных станций, наблюдавших геомагнитные пульсации Pc1 диапазоне 0.2-4 Гц, позволяет объяснить сложную структуру и динамику спектра этих геомагнитных пульсаций.

Публикация:

Т.А. Яхнина, А.Г. Яхнин, Т. Райта, Ю. Маннинен, Дж. Голдстейн. Локализация источников геомагнитных пульсаций Pc1 // Известия РАН. Серия физическая (в печати)

6. Выполнялось совершенствование методики численного интегрирования уравнений Максвелла в ионосферной плазме в задаче о распространении электромагнитных волн и широкополосных сигналов в диапазонах от УНЧ до КВ и УКВ.

Система уравнений в этой задаче состоит из уравнений Максвелла и замыкающего ее линеаризованного уравнения потока импульса для электронной компоненты, записанного через плотность тока — так называемого уравнения Лоренца. Для численного интегрирования используется монотонная гибридная схема с противопотоковой аппроксимацией и с расщеплением по физическим процессам и по пространственным направлениям. В этой схеме электрическое и магнитное поля вычисляются в одни и те же моменты времени в одних и тех же узлах пространственной сетки. Затухание поля и тока

сигнала за счет проводимости и их вращение во внешнем геомагнитном поле учитываются на отдельном шаге расщепления. Для этого шага получено аналитическое описание сигнала как точного решения задачи Коши для линейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Использование этого точного решения по сравнению с конечно-разностной аппроксимацией позволяет на порядок и более увеличить шаг численного интегрирования по времени, а также позволяет иметь высокую точность в описании вращения поля и тока сигнала вокруг геомагнитного поля и затухания сигнала за счет проводимости. Это точное решение задачи Коши имеет очень громоздкий вид и допускает различные формы записи. В численных расчетах проверялись и сравнивались результаты для трех различных форм записи этого решения. В результате была определена оптимальная форма записи, которая была введена в исследовательский комплекс программ для расчетов на графическом процессоре. Проведенные с его помощью тестовые расчеты позволили с приемлемой точностью воспроизвести качественно и количественно общую картину и ряд тонких деталей распространения УНЧ сигналов, которые наблюдались в эксперименте ФЕНИКС-2014. Это указывает на верность теоретического подхода и созданной с его помощью численной модели, а также свидетельствует о правильной работе комплекса программ численной модели.

Таким образом, созданы предпосылки для численного моделирования широкого круга задач, который описывается указанной выше системой уравнений. В этот круг помимо задач распространения низкочастотных электромагнитных сигналов в волноводе Земля-ионосфера также входят актуальные задачи взаимодействия волн КВ и УКВ диапазонов с ионосферными неоднородностями, который имеют размер порядка длины волны.

Работа выполнена совместно с сектором вычислительного эксперимента № 503.

Публикации:

1. О. И. Ахметов, И. В. Мингалев, О. В. Мингалев, В. Б. Белаховский, З. В. Суворова. Распространение электромагнитных волн в атмосфере высоких широт при различных гелиогеофизических условиях в диапазоне ОНЧ // Сборник трудов 43-го Апатитского семинара "Физика авроральных явлений"

2. O. I. Akhmetov, I. V. Mingalev, O. V. Mingalev, V. B. Belakhovsky and Z. V. Suvorova, "The Propagation of the Electromagnetic Waves at Frequencies of the Russian Radio Navigation System RSDN-20 (Alpha) during a substorm at high latitude ionosphere," 2020 URSI GASS IEEE, Rome, Italy, 2020, pp. 1-4, doi: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232139. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9232139>

Исполнители: Ахметов О.И., Мингалев И.В., Мингалев О.В., Суворова З.В.

7. Выполнялось усовершенствование численной модели стационарного тонкого токового слоя (ТТС) размерности $1D3V$ с заданной нормальной компонентой магнитного поля в бесстолкновительной плазме из незамагниченных протонов и замагниченных электронов. В модели образующие ТТС незамагниченные протоны описываются стационарным уравнением Власова, которое решается численно, а замагниченные электроны описываются аналитически распределением Максвелла-Больцмана, которое является решением уравнения Власова в дрейфовом приближении.

Все существующие модели указанного стационарного ТТС, а также предыдущие версии нашей модели имели ряд важных ограничений в постановке задачи. Одна из

самосогласованных компонент магнитного поля обязательно должна была быть широкой, то есть при переходе через слой не изменялась, но могла изменяться только внутри слоя. Нормальный поток плазмы через слой не допускался. По данным измерений на космических аппаратах тонкие токовые слои часто бывают существенно несимметричным, а также в них часто присутствует нормальный поток плазмы через слой.

Было выполнено обобщение системы уравнений и граничных условий модели указанного выше ТТС на самый общий случай с двумя самосогласованными компонентами магнитного поля, которые могут изменяться при переходе через слой, а также с несимметричными граничными условиями, которые порождают нормальный поток плазмы через слой и нейтрализующий его продольный ток электронов.

Также выполнено существенное улучшение методики численного моделирования. В модели стационарное уравнение Власова для протонов решается численно при помощи метода расчета фазовых траекторий в прошлое. В этом методе в каждом узле равномерной пространственной сетки рассматривается ориентированная по местному магнитному полю равномерная сетка в пространстве скоростей. Из этих узлов сетки в фазовом пространстве рассчитывается в прошлое фазовая траектория вплоть до выхода ее из области моделирования в область фазового пространства, на котором задана функция распределения влетающих протонов, равная значению функции распределения в начальном узле траектории.

Этот расчет фазовых траекторий выполняется на графическом процессоре. Большой объем проведенных расчетов показал, что важно для каждого узла пространственной сетки правильно определить узлы сетки в пространстве скоростей, в которых функция распределения отлична от нуля. Для этого разработан «метод предварительной засветки фазового пространства», который позволяет достаточно точно оценить носитель функции распределения в пространстве скоростей и состоит в следующем.

В точках пространства выше и ниже слоя задается ориентированная по местному магнитному полю равномерная сетка в пространстве скоростей, на которой задаются функции распределения образующих потоков протонов. Далее для тех узлов, в которых функция распределения падающего потока отлична от нуля, рассчитываются выходящие фазовые траектории вплоть до вылета из области контроля при помощи специального алгоритма. В ходе расчета каждой фазовой траектории она на каждом шаге по времени стартует из одного узла пространственной сетки и попадает либо в этот же узел, либо в соседний. При этом отмечаются (засвечиваются) ближайшие к ее конечной скорости узлы сетки в пространстве скоростей. В результате для каждого узла пространственной сетки получаем множество «засвеченных» точек сетки в пространстве скоростей. По этому множеству сетки выбираются размеры минимального прямоугольного параллелепипеда, который содержит множество «засвеченных» точек. Именно из лежащих в этом параллелепипеде узлов сетки в пространстве скоростей и выпускаются фазовые траектории в прошлое.

Также в ходе расчетов фазовых траекторий в прошлое было введено исключение уже вышедших из области контроля траекторий, что позволило лучше использовать возможности графического процессора.

Применение этих усовершенствований позволило в разы сократить время расчетов, необходимое для получения конфигурации рассматриваемого ТТС и получить ряд несимметричных конфигураций, которые не удавалось получить при помощи предыдущих версий модели. Новая версия модели позволяет исследовать существенно несимметричные

тонкие токовые слои, которые кроме хвоста магнитосферы Земли наблюдаются на магнитопаузе и в солнечном ветре.

Работа выполнена совместно с сектором вычислительного эксперимента № 503.

Публикация:

О.В. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, П.В. Сецко, М.Н. Мельник, А.В. Артемьев, А.М. Мерзлый, О.В. Хабарова, Л.М. Зеленый. Силовой баланс в токовых слоях в бесстолкновительной плазме // Физика плазмы. 2021. Т. 47.

Исполнители: Мингалев О.В., Мельник М.Н., Сецко П.В., Мингалев И.В.

ТЕМА: Изучение особенностей распространения крайне низкочастотных волн искусственного и естественного происхождения в высоких широтах (включая Арктическую зону) (0227-2019-0001)

В рамках настоящей темы работали сотрудники лаборатории радиопросвечивания. Руководитель темы: к.ф.-м.н. Р.Ю. Юрик.

Объектом исследования является электромагнитное поле крайне низкочастотного диапазона как естественного, так и искусственного происхождения, а также его характеристики и особенности генерации и распространения в высоких широтах, включая Арктическую зону.

Цель работы - получение новых теоретических и практических знаний фундаментального характера, а также получение и систематизация экспериментальных данных.

В ходе выполнения темы изучается возможность создания методов применения электромагнитных волн крайне низкочастотного диапазона для диагностики внешней ионосферы и определения неоднородной структуры литосферы Земли.

В лаборатории используются уникальные образцы научной аппаратуры. Зарегистрированные и обработанные научные данные применяются для выполнения научно-исследовательских работ.

В 2020 г. были получены следующие **основные результаты**:

1. Экспериментальные и теоретические исследования поляризационных характеристик резонансов естественных электромагнитных полей и их интерпретация.

Установлен значительный вклад ионосферного излучения в приземный магнитный шум, что приводит к затруднению в интерпретации наблюдаемых поляризационных характеристик резонансных структур спектра. Также показано на основе анализа суточной динамики поляризационных характеристик, что в окрестностях шумановских резонансов вклад приземных молниевых источников в фоновый магнитный шум становится определяющим. Проведен анализ случаев модуляции шумановских резонансных структур альвеновскими. Для данных случаев установлено хорошее совпадение наблюдаемых поляризационных характеристик с расчетными.

В результате проведенных исследований показано, что поляризационные спектральные характеристики обладают большей эффективностью в задачах детектирования резонансных структур спектра, чем обычно используемые компоненты спектра мощности. Однако было установлено, что в естественном приземном магнитном шуме существенную долю составляет фоновое излучение ионосферного происхождения, что делает количественную интерпретацию поляризационных характеристик альвеновских резонансов затруднительной для большей части рассматриваемого диапазона частот. В тоже время, было показано, что в окрестностях первого и второго шумановского резонанса вклад излучения приземных гроздовых источников значительно превосходит вклад источников ионосферных, что хорошо демонстрирует суточная динамика поляризационных характеристик шума.

Для областей в окрестностях шумановского резонанса, динамика альвеновских резонансных структур хорошо согласуется с теоретическим моделированием, но необходимо отметить, что случаи наблюдения альвеновских резонансных структур в областях шумановских резонансных частот довольно редки.

Ответственный исполнитель: Иванов Н.В.

2. Исследование влияния неоднородной структуры подстилающей поверхности на возбуждение крайне низкочастотных волн.

Выполнен анализ полученных ранее результатов полевых исследований, проведенных в рамках эксперимента FENICS-2019. По итогам выполненного анализа результатов полевых экспериментальных работ на полуостровах Рыбачий и Средний можно сделать вывод о целесообразности использования мощных контролируемых источников электромагнитного поля, применение которых позволяет определять параметры геоэлектрического разреза земной коры подстилающей поверхности.

В 2019 году был проведен эксперимент FENICS-2019 по электромагнитному зондированию земной коры с помощью промышленных ЛЭП, целью которого являлось построение квази 3-D модели электропроводности литосферы восточной части Фенноскандинавского (Балтийского) щита.

Для заданной геометрии эксперимента были рассчитаны кривые нормального поля для выбранного набора частот генерируемого сигнала. С помощью этих кривых экспериментально измеренные значения амплитуд электрического и магнитного полей были пересчитаны в значения кажущегося сопротивления среды. Для построения геоэлектрических разрезов земной коры в районах расположения точек измерений электромагнитного поля на полуостровах Рыбачий и Средний была выполнена трансформация кривых зависимости кажущегося сопротивления ρ_k от частоты поля f в графики зависимости действующего сопротивления среды ρ' от действующей глубины z' с помощью дифференциальной трансформации Молочного-Ле Вьета.

Кроме того, для анализа результатов эксперимента были привлечены данные магнитотеллурических зондирований (МТЗ) по которым были рассчитаны значения импеданса Бердичевского. Для данных МТЗ в полном объеме провести дифференциальную трансформацию не удастся, так как в результате получается самопересекающаяся кривая зависимости действующего сопротивления среды от действующей глубины. Данное обстоятельство обусловлено, вероятно, искажениями кривой МТЗ вследствие влияния мощных тектонических разломов, в частности, системой сдвига-надвигов Троллефьорд-Рыбачий-Кильдин (ТРК), разделяющей полуострова Рыбачий и Средний.

Полученные результаты интерпретации данных электромагнитного зондирования (ЭМЗ) с контролируемым источником хорошо согласуются с имеющейся геолого-геофизической информацией о строении литосферы в районе полуостровов Рыбачий и Средний.

Таким образом, по итогам выполненного анализа результатов полевых экспериментальных работ на полуостровах Рыбачий и Средний можно сделать вывод о целесообразности использования мощных контролируемых источников электромагнитного поля, применение которых позволяет определять параметры геоэлектрического разреза земной коры в сложных геологических условиях переходной зоны от кристаллического Балтийского щита к породам осадочного чехла южной окраины Баренцевоморской плиты, характеризующейся наличием мощных тектонических нарушений.

Было также установлено, что в таких сложных геологических условиях кривые магнитотеллурических зондирований подвергаются сильным искажениям. Поэтому при проведении геофизических работ в данном районе предпочтительнее использовать электромагнитные методы с контролируемым источником.

Ответственный исполнитель: Любич В.А.

3. Исследование применимости импедансного подхода в высоких широтах.

В ходе эксперимента FENICS-2019 регистрировалось пять компонент электромагнитного поля КНЧ диапазона (0.3-94 Гц) в средней зоне линейных антенн. По измеренным компонентам электрического и магнитного поля были рассчитаны приведенные поверхностные импедансы, используемые в методиках электромагнитного зондирования литосферы. Было показано, что частотные изменения импеданса в основном объясняется простой двухслойной моделью Земной коры. Для более детального исследования Земной коры необходимо использовать не только амплитуды полей, но и их поляризационные характеристики. При этом необходимо учитывать вклад ионосферы на распространение поля.

На основе проведенных наблюдений в ходе эксперимента по зондированию литосферы FENICS-2019, проведен расчет поверхностного импеданса. Полученные значения сравнивались с моделью распространения плоской электромагнитной волны в двухслойной среде.

Для проведения наблюдений за распространением поля в волновом канале Земля-ионосфера вблизи п. Варзуга был установлен пятикомпонентный магнитометр конструкции ПГИ. Расстояние от точки приема до концов антенны составило 314 и 370 км. Для измерения магнитных компонент использовались три индукционных датчика: два ортогональных горизонтальных и один вертикальный. Горизонтальные датчики ориентировались по показаниям магнитного компаса в направлениях запад-восток и север-юг. Электрическое поле измерялось ортогональными электрическими линиями длиной 80 метров каждая с заземлением в центре и на концах. Электрические линии ориентировались аналогично индукционным датчикам.

Проведенный эксперимент показал эффективность зондирования литосферы с активным источником. Показано, что в диапазоне 0.3 - 95 Гц хорошим приближением для определения проводимости в районе п. Варзуга является двухслойная модель с проводимостью слоев 10^{-4} См/м и 10^{-5} См/м. Для более детального изучения структуры земной коры необходимо расширение частотного диапазона, по сравнению с используемым в эксперименте, как в сторону верхних частот для изучения верхнего слоя, так и низких - для расширения глубинного зондирования Земли. Для выделения более тонких структур литосферы необходимо привлекать поляризационные характеристики электромагнитного поля, с учетом воздействия ионосферы.

Ответственные исполнители: Терещенко П.Е., Юрик Р.Ю.

4. Теоретические и экспериментальные исследования влияния высокоширотной ионосферы на распространение радиоволн крайне низкочастотного диапазона.

Для интерпретации распространения электромагнитных волн крайне низкочастотного диапазона в литосфере Земли в районе полуостровов Рыбачий и Средний построена трехмерная модель, которая была применена при анализе результатов эксперимента по электромагнитному зондированию литосферы FENICS-2019. Полученные результаты моделирования процесса распространения электромагнитных волн хорошо согласуются с имеющейся геолого-геофизической информацией о строении литосферы исследуемой области.

Выполнено трехмерное моделирование процесса распространения электромагнитных волн КНЧ-диапазона в районе полуостровов Рыбачий и Средний. Для моделирования

использовался метод сеточной аппроксимации уравнений для векторного и скалярного потенциалов электромагнитного поля.

Полученная система дифференциальных уравнений удобна тем, что после сеточной аппроксимации мы получим систему линейных уравнений с ленточной матрицей, которая обладает свойством сильной диагональной доминантности, что значительно упрощает решение системы. Для решения систем линейных уравнений с диагонально доминантной матрицей удобно применять итерационный метод Зейделя

Для сеточной аппроксимации системы дифференциальных уравнений была выбрана трехмерная прямоугольная сетка с линейными размерами ячеек $2000 \times 2000 \times 500$ м (за исключением верхнего слоя, где глубина моря была принята 200 м, и зон тектонических нарушений, где размер ячеек составлял $2000 \times 500 \times 500$ м). Моделирование проводилось для частот генерируемого электромагнитного поля $f = 0.642, 6.422, 64.22$ Гц.

Результаты проведенных электромагнитных зондирований земной коры и выполненного математического моделирования подтверждают слоистый характер осадочного чехла исследуемого района и хорошо согласуются с имеющейся геолого-геофизической информацией о строении литосферы полуостровов Средний и Рыбачий, а именно данными бурения и сейсмического профилирования.

Ответственный исполнитель: Любич В.А.

Возможность практического применения

Полученные в ходе выполнения темы результаты могут найти практическое применение при разработке методов диагностики ионосферы по совместным данным сети измерителей электромагнитного поля крайне низкочастотного диапазона, а также современных технологий электромагнитного зондирования литосферы Земли с целью определения ее структуры при поиске полезных ископаемых, что заметно повысит их достоверность и экономическую эффективность. Результаты исследования также могут применяться при создании методов сигнализации и предупреждения для управления удаленными объектами.

Накопленные экспериментальные данные, теоретические интерпретации и построенные модели в дальнейшем будут использованы при исследовании, с применением электромагнитных волн крайне низкочастотного диапазона, природных сред с, особенностей распространения волн этого диапазона, а также при планировании и проведении будущих экспериментов.

Заключение

Работы, запланированные на 2020 год, выполнены в полном объеме. Результаты опубликованы или направлены в печать; они были доложены на российских и международных конференциях. Исследования в рамках утвержденной темы продолжаются в соответствии с планами фундаментальных научных исследований.

ТЕМА: Разработка и совершенствование методов обработки данных и аппаратуры для их использования в высокоширотных радиофизических и геофизических исследованиях (0227-2019-0005)

В рамках настоящей темы работали сотрудники сектора оптических методов и лаборатории геофизических наблюдений. Руководитель темы: к.ф.-м.н. Федоренко Ю.В.

Исследования по настоящей теме проводились в соответствии с основными направлениями Программы фундаментальных научных исследований (ФНИ) государственных академий наук на 2013–2020 гг., а именно п. 12. «Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений» в части «разработка новых методов генерации и приема излучения различной физической природы и спектральных диапазонов для диагностики окружающей среды, включая литосферу, атмосферу, ионосферу и магнитосферу, и активного воздействия на нее».

В 2020 г. были получены следующие **основные результаты**:

1. Разработано универсальное программное обеспечение для работы камер сети оптических приборов ПГИ, позволяющее устанавливать как постоянные, так и переменные по времени параметры камер на протяжении всего цикла наблюдений.

Проведены оптические наблюдения запланированных видов и объёмов. Патрульные оптические приборы ПГИ представлены камерами всего неба, меридиональными спектрометрами и эмиссионными имажерами. В основе каждого прибора находится оптическая камера с ПЗС или КМОП матрицей. Поскольку назначение приборов разное, характеристики камер подобраны под оптимальное выполнение конкретной задачи. Но все входящие в состав приборов камеры имеют сходный набор управляемых настроек, что делает возможным объединение управления ими универсальным программным обеспечением.

Существует ряд стандартных программ для управления камерами (например, Firecapture, SharpCap и др.), которые предполагают ручное управление процессом сбора данных. Однако они не подходят для работы в составе патрульной геофизической аппаратуры в силу ряда специфических особенностей. Каждый экспонируемый кадр в потоке данных научного прибора должен быть привязан к Мировому Времени с точностью до нескольких миллисекунд. Работа приборных камер должна быть максимально автономной и с автоматическим изменением настроек. Эксплуатирующиеся приборы используются для исследования широкого класса геофизических явлений/объектов, вариабельность характеристик которых требует от входящих в их состав камер работы на пределах диапазонов их технических возможностей. Это порождает множественность регулируемых параметров, включающих: время экспозиции, усиление, биннинг, степень временного интегрирования, формат данных, включение/отключение процесса сбора, регулировку температуры, управление внешними устройствами.

Разработка и применение индивидуальных программ для каждой конкретной камеры/прибора нецелесообразны, поскольку увеличивают затраты на поддержку программного обеспечения.

В 2020 году разработано универсальное программное обеспечение для работы камер сети оптических приборов ПГИ. Программное обеспечение позволяет устанавливать как постоянные параметры камер на протяжении всего цикла наблюдений, так и переменные по

времени. Реализована поддержка различных типов фильтровых колес для эмиссионных имаджеров и затворов для регулярного съема "темнового" сигнала. Обеспечен оперативный автоматический вывод изображений камер на WEB странице ПГИ. На рис. 18 показано окно интерфейса разработанного ПО.

В связи с пандемией 2020 года уделено особое внимание обеспечению удаленного контроля за работой камер. Для этого организована внутренняя частная компьютерная сеть между обсерваториями ПГИ (Баренцбург, Ловозеро) и зданием ПГИ г. Апатиты. Реализовано удаленное управление процессом сбора данных на каждом из приборов, доступное как с рабочего места ПГИ, так и с произвольного удаленного рабочего места при наличии сети Интернет.

В настоящее время программное обеспечение эксплуатируется на obs. Баренцбург и obs. Ловозеро. В obs. Баренцбург отсутствует постоянный персонал на станции и управление камерами полностью автоматизировано.

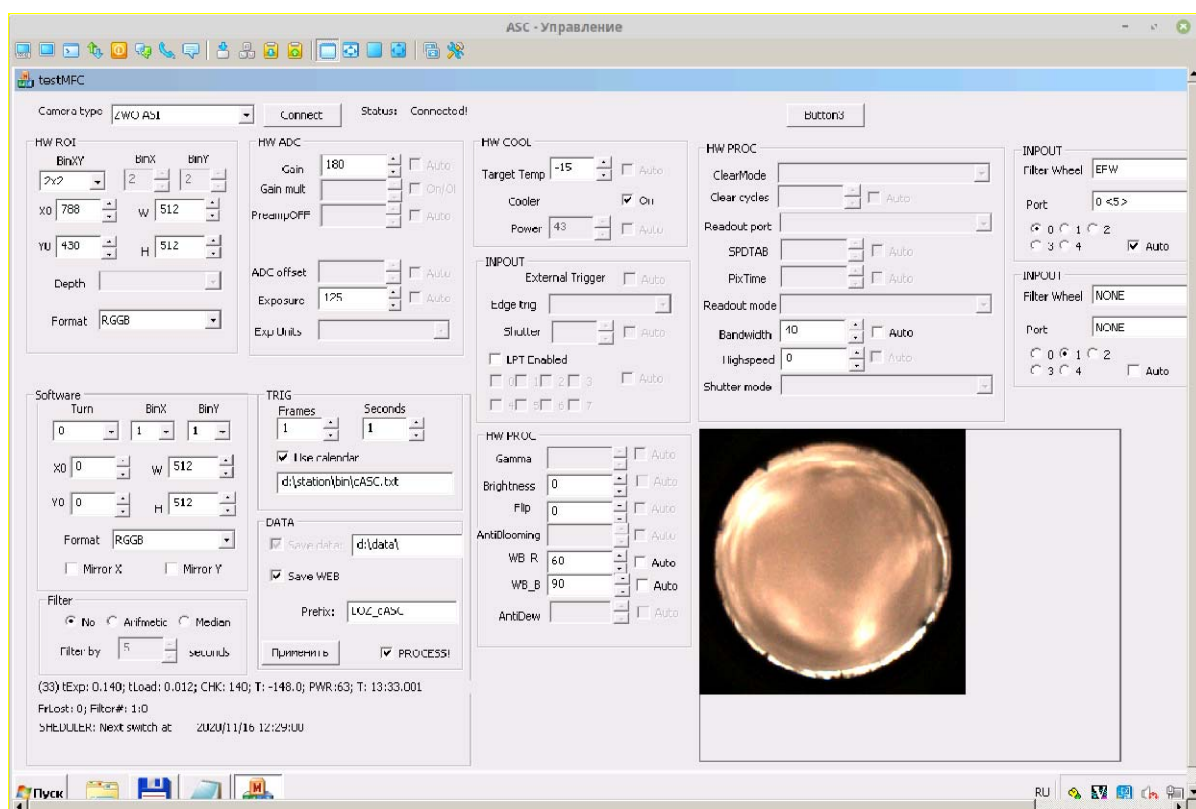


Рис. 18. Пример окна интерфейса разработанного программного обеспечения для систем сбора данных оптических приборов.

Таким образом, универсальное программное обеспечение сократило время, уделяемое для контроля за работой камер. Время, затрачиваемое на подключение новых камер, сократилось и сводится к написанию интерфейса между драйвером камеры и программным обеспечением. Универсальность позволяет легче ориентироваться в настройках камер обслуживающему персоналу. Типовое решение для обработки кадров и получения изображения дает возможность быстро включать прибор в WEB интерфейс сайта ПГИ.

2. Разработан пакет программ для расчета и графического представления параметров поля КНЧ/СНЧ/ОНЧ/НЧ излучений, реализующий метод подавления импульсных сигналов атмосфериков в записях компонент поля, а также метод представления углов прихода СНЧ/ОНЧ излучений в виде распределений плотности потока энергии и мощности магнитного поля по азимутальным углам. Показано, что

метод подавления атмосфериков отличается высокой эффективностью. Его применение позволяет исследовать СНЧ/ОНЧ излучения, регистрируемые на частотах выше 4-5 кГц. Представление углов прихода в виде распределений плотности потока энергии и мощности магнитного поля по азимутальным углам позволяет судить об одновременном существовании нескольких пучков волн, приходящих в точку наблюдений с разных направлений.

Наземные наблюдения СНЧ/ОНЧ излучений играют важную роль при исследовании различных геофизических процессов, происходящих в магнитосфере и ионосфере Земли. Для анализа особенностей генерации и распространения этих излучений необходимы актуальные методы обработки данных и представления результатов наблюдений. Нами разработан пакет программ для предварительной обработки данных, включающей подавление импульсных сигналов атмосфериков в записях компонент электромагнитного (ЭМ) поля, и для представления параметров регистрируемого поля в виде их плотностей распределения.

Подавление импульсных сигналов атмосфериков в записях ЭМ поля

Интерпретация данных наземных наблюдений СНЧ/ОНЧ излучений осложнена существованием в волноводе Земля-ионосфера атмосфериков — импульсных электромагнитных сигналов, вызванных грозowymi разрядами. Частота возникновения молний может составлять более ста разрядов в секунду. Максимальные значения спектральной плотности мощности атмосфериков приходятся на интервал частот 4-10 кГц. Зачастую, всплески естественных СНЧ/ОНЧ излучений могут быть полностью экранированы сигналами атмосфериков на частотах выше 4 кГц. Нами разработан программный модуль для подавления импульсных сигналов атмосфериков в записях компонент ЭМ поля регистраторов СНЧ/ОНЧ излучений.

Сегодня широко распространен метод подавления атмосфериков, описанный в работе [1]. Поиск происходит на огибающей горизонтальной компоненты напряженности магнитного поля в полосе 0,6-16 кГц. Огибающая делится на сегменты длиной 20 мс. В случае если в сегменте мощность магнитного поля превышает некоторое пороговое значение, сегмент замещается другим с поправкой на потери в нем мощности [2]. Такой метод неэффективен, поскольку его использование может привести к подавлению значительной части полезного сигнала и значительному искажению спектра сигнала. Разработанный нами метод подавления атмосфериков, реализованный в виде набора программ, свободен от подобных недостатков и, как будет показано далее, является эффективным в подавлении импульсных помех.

На огибающей напряженности горизонтальной компоненты магнитного поля в полосе 3-10 кГц, в которой сосредоточена максимальная мощность атмосфериков, мы производили поиск пиков с амплитудой, превышающей заданный порог. Во избежание распознавания мощного СНЧ/ОНЧ всплеска как атмосферика, порог выбирался относительно медленно меняющейся части сигнала. После этого определялись границы импульса в точках слева и справа от выбранного пика, в которых производная меняет знак. В пределах этих границ мы производили удаление фрагментов всех компонент поля. В случае обнаружения последовательности импульсов атмосфериков, в которой время между следующими друг за другом импульсами не превышало 3 мс, удалялась вся последовательность, включая промежутки между ними. Вычисление значений компонент поля в образовавшихся зазорах производилось с использованием линейной интерполяции. Используемый подход для определения границ импульсной помехи позволяет добиться наименьшего подавления полезного сигнала, а использование линейной интерполяции обеспечивает наименьшее искажение спектра компонент поля.

Разработанный метод подавления атмосфериков был использован для исследования дневных ОНЧ-излучений, зарегистрированных 5 января 2015 года во время восстановительной фазы магнитной бури [2]. На рис. 19 представлены рассчитанные по данным наблюдений в obs. Ловозеро спектрограммы напряженности магнитного поля до подавления атмосфериков и после. Применение разработанного метода позволило обнаружить (рис. 19 справа), что в рассматриваемый интервал на частотах выше 5 кГц наблюдаются короткие изолированные всплески. Без подавления атмосфериков в записях компонент поля исследование этих и других всплесков в диапазоне частот выше 4-5 кГц невозможно.

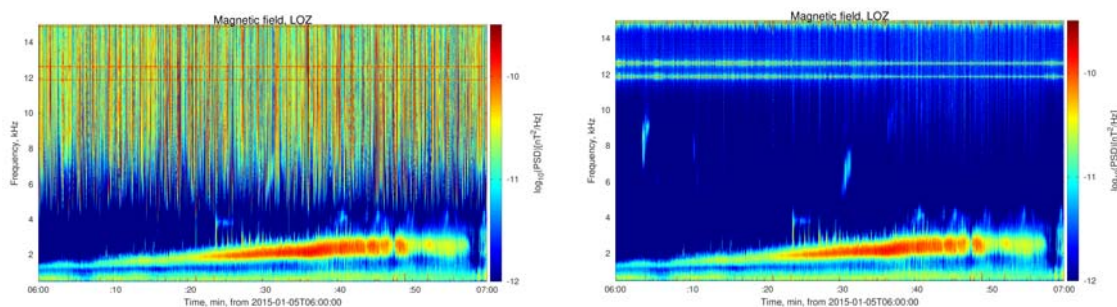


Рис. 19. Спектрограммы горизонтальной компоненты магнитного поля до подавления импульсных сигналов атмосфериков в записях компонент поля (слева) и после (справа).

Графическое представление направления прихода волн в виде распределения мощности магнитного поля по азимутальным углам прихода

При исследовании излучений, поле которых может быть представлено в виде пакета плоских волн с распределенными направлениями волновых нормалей, удобно представлять параметры таких полей в виде их распределения по азимутальным углам. Особый интерес представляют распределения плотности потока энергии (вектора Пойнтинга) и мощности магнитного поля по азимутальным углам. Полезность такого представления результатов наблюдений основана на том, что рассчитанное по измерениям компонент поля направление вектора Пойнтинга в точке измерений в случае узкого в k -пространстве пучка волн или, в пределе, единственной плоской волны мало отличается от направления горизонтальной компоненты волнового вектора.

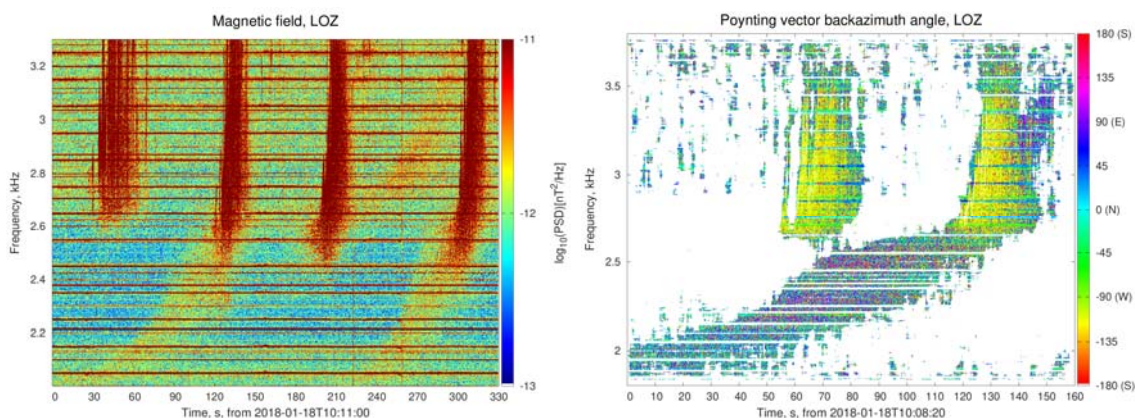


Рис. 20. Спектрограмма горизонтальной компоненты магнитного поля и азимутальные углы вектора, обратного вектору Пойнтинга, рассчитанные с использованием традиционных подходов.

Был разработан метод представления параметров поля в виде их распределения по азимутальным углам. Ниже рассмотрены основные особенности такого способа представления данных на примере регистрации квазипериодических излучений в obs.

Ловозеро 18 января 2018 года. На рис. 20 представлены спектральная плотность мощности магнитного поля и азимутальные углы вектора, обратного вектору Пойнтинга, рассчитанные с использованием традиционных подходов. Из рисунка видно, что в рассматриваемый интервал времени наблюдаются всплески в полосе частот 1800-3600 Гц. В полосе 2800-3600 Гц, где наблюдается наибольшее отношение сигнал-шум, преобладают азимутальные углы ~ 110 градусов, что означает западо-юго-западное направление прихода волн в точку наблюдений.

На рис. 21 показаны распределения мощности магнитного поля по азимутальным углам прихода, рассчитанные для полосы частот 2800-3600 Гц. По-видимому, на этих частотах накладываются два пучка волн. Часть энергии приходит в точку наблюдений с северо-северо-востока и часть энергии — с юго-запада. Кроме того, юго-западные всплески приходят в точку наблюдений несколько раньше северо-северо-восточных.

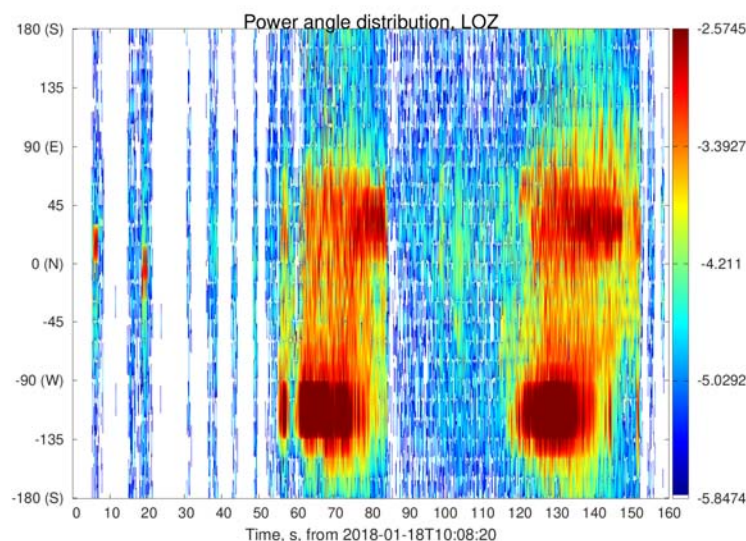


Рис. 21. Распределения мощности магнитного поля по азимутальным углам, рассчитанные для диапазона частот 2600-3600 Гц.

Применение традиционных методов для анализа азимутальных углов прихода волн в точку наблюдений привело к потере информации о характере распространения рассматриваемых QR эмиссий. Только применение предложенного метода анализа, основанного на представлении углов прихода в виде распределения мощности магнитного поля по азимутальным углам прихода, позволило судить об одновременном существовании нескольких пучков волн, приходящих в точку наблюдений с разных направлений (рис. 21).

Список используемой литературы

1. Manninen, J., Turunen, T., Kleimenova, N., Rycroft, M., Gromova, L., & Sirvio, I. (2016), Unusually high frequency natural VLF radio emissions observed during daytime in Northern Finland, *Environ. Res. Lett.*, 11 (12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124006>.
2. Маннинен Ю., Клейменова Н.Г., Громова Л.И., Федоренко Ю.В., Никитенко А.С., Лебедь О.М. Дневные ОНЧ-излучения во время восстановительной фазы магнитной бури: событие 5 января 2015 г. // *Геомагнетизм и Аэрономия*, V.60, No.3, 2020. P.318-328, doi:10.31857/S0016794020030116.

3. Исследования показывают, что дискретные формы полярных сияний могут стать причиной аномально больших ошибок в работе навигационных систем. Для

прогноза подобных явлений предлагается использовать модель аврорального овала Фельдштейна и Старкова. Сравнение данной модели с экспериментальными (оптическими) данными показывает хорошее или в ряде случаев удовлетворительное соответствие. Модель овала полярных сияний не потеряла своей актуальности, но нуждается в коррекции в связи со смещением магнитного полюса и изменением магнитных полей земли.

В последнее время освоению Арктики уделяется особое внимание, об этом свидетельствует указ президента «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года». В частности, одним из пунктов в сфере развития инфраструктуры Арктической зоны заявлена реализация комплекса мер по навигационному обеспечению. Одной из важнейших и актуальных проблем является обеспечение высокой точности навигации в условиях Арктики.

Главным источником погрешности навигационных измерений с использованием космических систем ГЛОНАСС/GPS является ионосфера Земли. В числе факторов, влияющих на погрешность позиционирования, доминирующую роль играют флуктуации фазы сигнала на трассе спутник-приемник. Флуктуации обусловлены присутствием в полярной ионосфере неоднородностей различных масштабов. Проведена работа по решению задачи прогноза появления мелкомасштабных неоднородностей в полярной ионосфере, возникающих одновременно с появлением дискретных форм полярных сияний. Такая связь показана в работах [1-4]. Наличие пространственно-временного соответствия оптических полярных сияний и возмущений полярной ионосферы, влияющих на распространение сигналов навигационных спутников (ГНСС), может позволить такой прогноз осуществить.

Мы провели сравнение модели овала полярных сияний по данным Фельдштейна и Старкова (модель «NORUSCA») и прямых измерений границ сияний по снимкам камер полного неба (рис. 22).

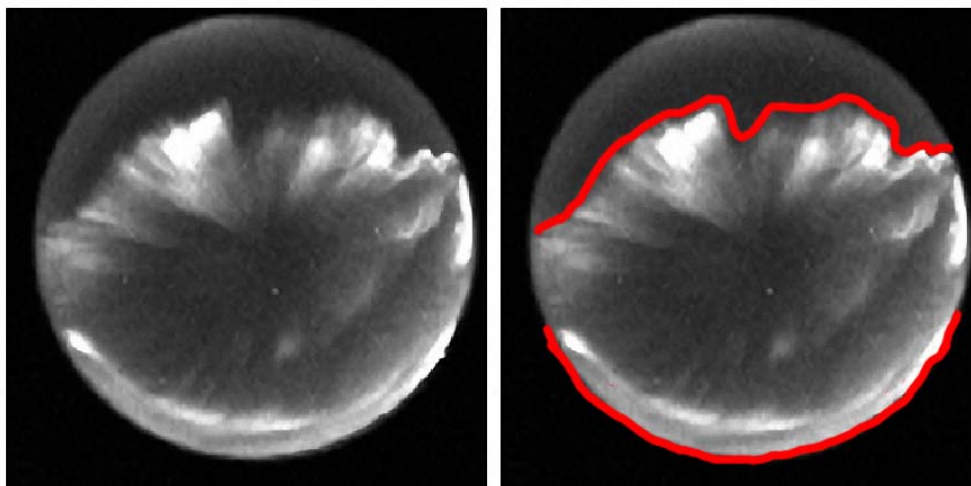


Рис. 22. Пример снимка камеры полного обзора неба и определения южной границы дискретных полярных сияний (красная линия)

Результат сравнения приведен на рис. 23. По оси абсцисс обозначено время UT, по оси ординат – вверху изображен Кр индекс, внизу - геомагнитная широта. Точками обозначены границы дискретных сияний, полученные экспериментально. График показывает рассчитанные по модели границы овала на долготе камеры всего неба. Темные зоны показывают отсутствие данных, или облачность.

Результаты сравнения измеренного и расчетного положения границы экваториального овала в приведенном случае показывают хорошее соответствие. В других рассмотренных

событиях уровень этого соответствия может как увеличиваться, так и уменьшаться. Вероятно, это связано со смещением магнитного полюса и изменениями в магнитном поле земли [5].

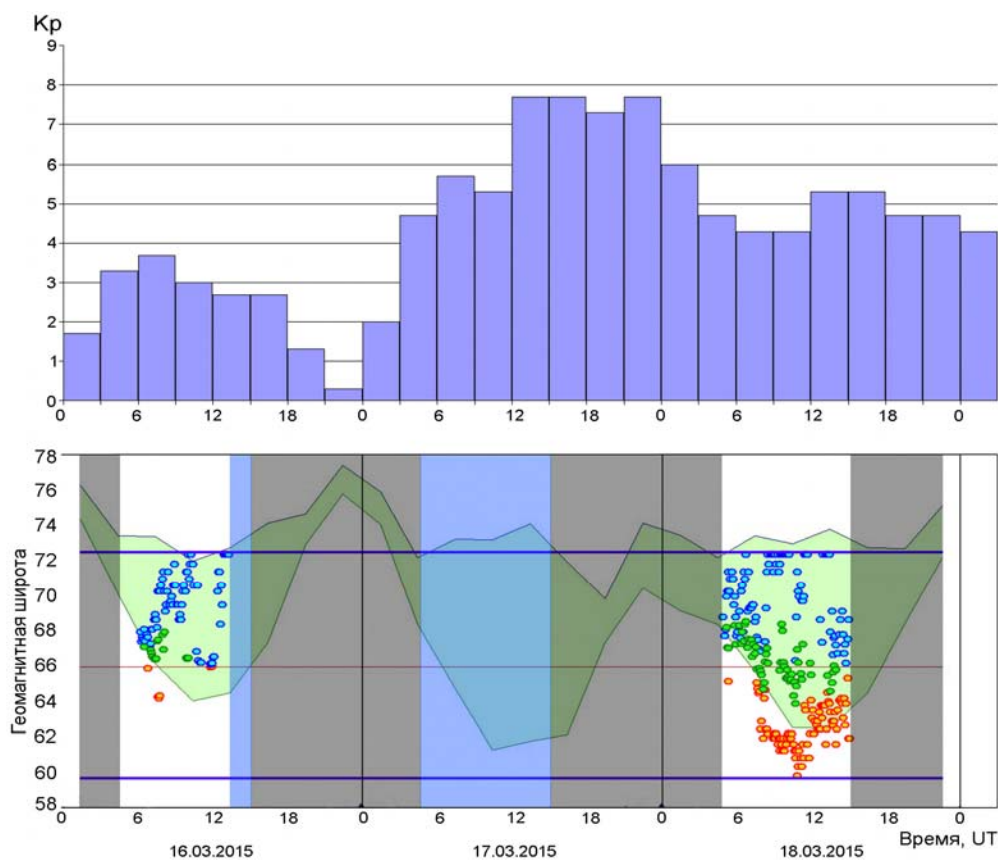


Рис. 23. Временной ряд Kp индексов (верхняя часть рисунка) и положение аврорального овала по данным модели «NORUSCA» и по прямым измерениям в обсерватории «PokerFlat» (Аляска) (нижняя часть рисунка) 16.03.2015–18.03.2015. Модельные границы овала обозначены линиями, прямые измерения – точками. Горизонтальные прямые линии обозначают границы поля зрения камеры на высоте нижней границы высоты дискретных полярных сияний.

Список используемой литературы

1. Chernouss S. A., Kalitenkov N. V. The dependence of GPS positioning deviation on auroral activity // International Journal of Remote Sensing, vol. 32(1), pp. 3005-3017, 2011.
2. Черноус С.А., Швец М.В., Филатов М.В., Шагимуратов И.И., Калитёнков А.Н. Исследования особенностей навигационных сигналов в период авроральных возмущений // Химическая физика, том 34, № 10, с. 33-39, 2015.
3. Филатов М.В., Швец М.В., Черноус С.А. Особенности приема навигационных сигналов на Шпицбергене в условиях развития полярных сияний // Труды Кольского научного центра. Гелиогеофизика, 2016, № 2, С. 84-90.
4. Козелов Б.В., Черноус С.А., Шагимуратов И.И., Филатов М.В., Ефишов И.И., Тепеницина Н.Ю., Федоренко Ю.В., Пильгаев С.В. Гелиогеофизические факторы, влияние которых могло обусловить ошибки в работе GPS в период военных учений НАТО «Trident Juncture» с 25/10/2018 по 7/11/2018 // Proc. 42nd Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», p. 48-52, Apatity, 2019.
5. Kopytenko Y. A., Chernouss S. A., Petrova A. A., Filatov M. V., Petrishchev M. S. The study of auroral oval position changes in terms of moving of the earth's magnetic pole. In C. P. Чалов, editor // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, pp. 289–296. Cham, Switzerland, 2019.

4. Восстановлены и исследованы особенности энергетических спектров высыпающихся электронов $f(E)$, формирующих лучистые структуры в полярных

сияниях. Показано, что в области энергий $E \sim 500 \div 1000$ эВ наблюдается локальный максимум, в то время как в области энергий $E \leq 250$ эВ - резкое возрастание с уменьшением энергии, близкое к степенной зависимости $E^{-\alpha}$. Показано, что полученные распределения $f(E)$ хорошо аппроксимируются суммой двух функций, носящих степенной характер на малых энергиях и максвелловское распределение по энергиям на энергиях > 250 эВ. Высказано предположение, что лучистые структуры в полярных сияниях формируются благодаря сбросу в ионосферу электронов, имеющих степенное распределение по энергиям. Обсужден физический механизм формирования такого распределения электронов.

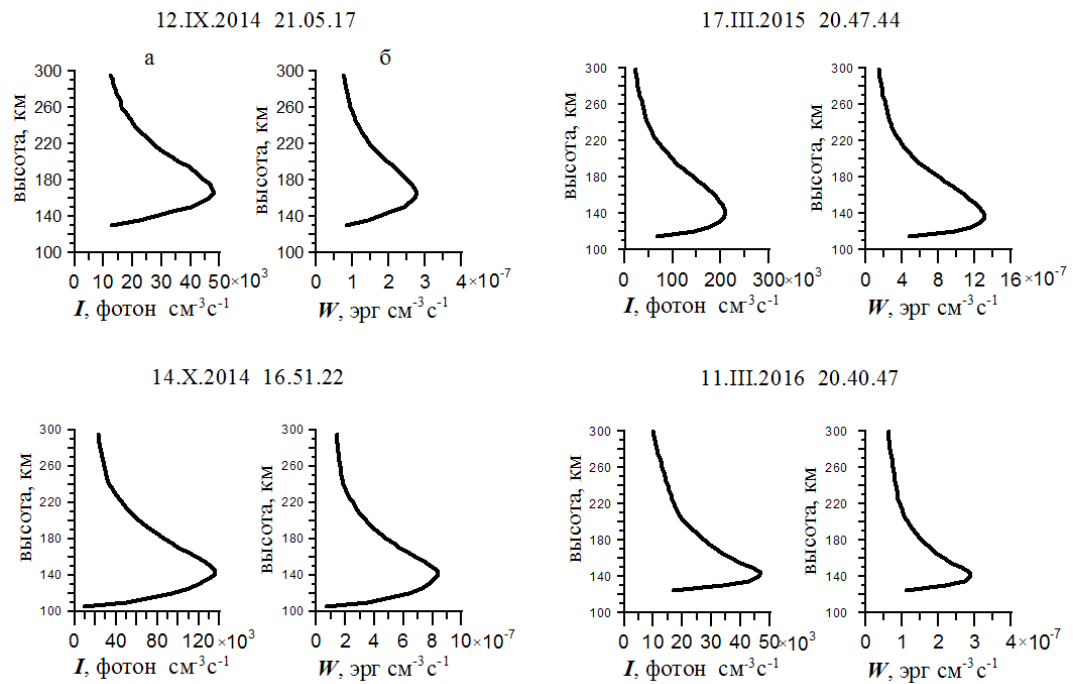


Рис. 24. Левая панель «а» - высотные профили объемной интенсивности излучения $I(h)$ для лучистых форм полярных сияний. Правая панель «б» - восстановленные высотные профили энерговыделения $W(h)$.

Характер энергетических спектров авроральных электронов, формирующих конкретные лучистые структуры, практически не исследован. Вид энергетического спектра потока высыпающихся электронов является одним из основных факторов, определяющих характер высотного распределения выделившейся в области полярного сияния энергии [1]:

$$W(h) = \rho(h) \int \frac{E}{R(E)} \lambda(h, E) f(E) dE \quad (1)$$

где: $W(h)$ - энергия, выделившаяся на высоте h в единицах $\text{эрг} \cdot \text{см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$; $\rho(h)$ - плотность атмосферы на высоте h в единицах $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$; E - начальная энергия электрона в эВ; $R(E)$ - интегральная длина пробега в единицах $\text{г} \cdot \text{см}^{-2}$; $\lambda(h, E)$ - безразмерная функция диссипации энергии, описывающая долю энергии электрона, выделившейся на высоте h ; $f(E)$ - энергетический спектр высыпающихся электронов в единицах $\text{см}^{-2} \cdot \text{эВ}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

Из формулы (1) видно, что знание высотного профиля энерговыделения в полярных сияниях вследствие электронных высыпаний позволяет восстановить параметры энергетического спектра высыпающихся электронов. Одним из методов получения высотных профилей энерговыделения в авроральных структурах являются триангуляционные наблюдения авроральных форм из разнесенных пунктов. Для

определения параметров энергетического спектра лучистых форм полярных сияний были использованы данные, полученные системой камер MAIN (Multiscale Auroral Imaging Network) [2]. В работе [3] были представлены высотные профили объемной интенсивности излучения в лучистых структурах, полученные на основе этих триангуляционных измерений. Эти профили объемной интенсивности излучения, в свою очередь, были переведены в высотные профили энерговыделения по методике, учитывающей особенности камер MAIN и описанной в работе [4]. На рис. 24 приведены полученные высотные профили объемной интенсивности излучения для четырех случаев лучистых форм полярных сияний и восстановленные по ним высотные профили энерговыделения $W(h)$.

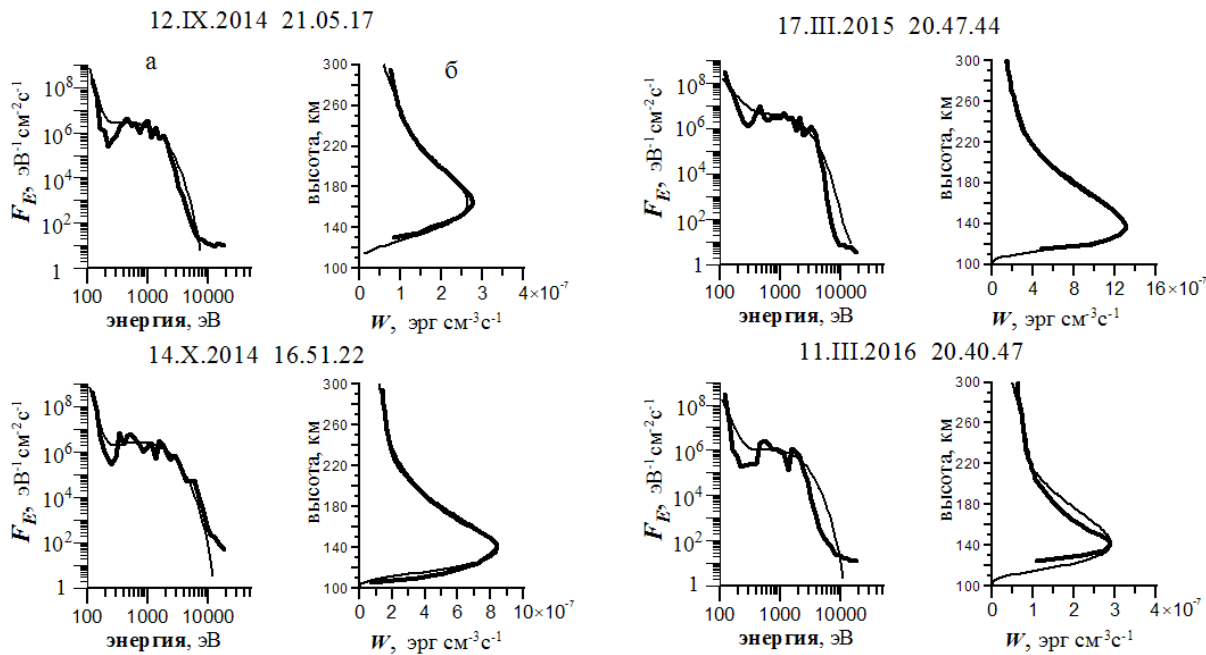


Рис. 25. Левая панель «а» - восстановленные энергетические спектры $f(E)$ (толстая линия); аппроксимация восстановленных энергетических спектров формулой (2) $F(E)$ (тонкая линия). Правая панель «б» - восстановленные высотные профили энерговыделения $W(h)$ (толстая линия); рассчитанные высотные профили энерговыделения для потоков, описываемых аппроксимационной формулой (2) (тонкая линия).

Решая уравнение (1) относительно $f(E)$ восстановим энергетические спектры потоков высыпавшихся электронов. Функция диссипации энергии $\lambda(h, E)$ и интегральные длины пробега $R(E)$ в формуле (1) задавались в соответствии с работой [1]. Полученные энергетические спектры $f(E)$ для четырех случаев лучистых полярных сияний приведены на рис. 25. Из рисунка можно видеть две характерные особенности в поведении энергетического спектра $f(E)$. В области энергий $E \sim 500 \div 1000$ эВ наблюдается локальный максимум, в то время как в области энергий $E \leq 200$ эВ величина дифференциального потока электронов демонстрирует резкое возрастание с уменьшением энергии близкое к степенной зависимости $E^{-\alpha}$. Подобный характер поведения кривой $f(E)$ позволяет аппроксимировать восстановленные энергетические спектры суммой следующих функций:

$$F(E) = N_1 E^{-\alpha} + N_2 \exp(-E/E_0) / E_0^2 \quad (2)$$

где: N_1 и N_2 - потоки высыпавшихся электронов в единицах $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$, E - энергия электронов в эВ, E_0 - характеристическая энергия в эВ.

На рис. 25 приведена иллюстрация результатов аппроксимации восстановленных энергетических спектров функционалом (2). Рассчитанные для аппроксимированных потоков интегральные интенсивности эмиссии 557.7 нм лежат в интервале от 4.4-15 кРл, что

соответствует величинам, наблюдаемым в полярных сияниях. Прямые расчеты высотных профилей энерговыведения с использованием формулы (2) демонстрируют хорошее согласие с высотными профилями энерговыведения, восстановленными по экспериментальным данным работы [2].

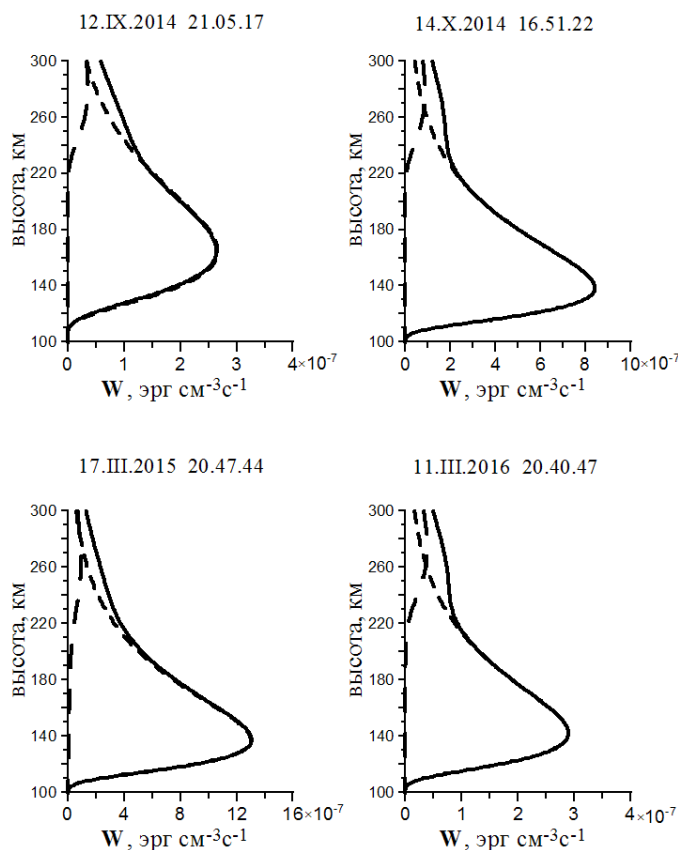


Рис. 26. Парциальные вклады в высотные профили энерговыведения электронных потоков $W(h)$ (сплошная линия) с максвелловским распределением по энергиям (длинный пунктир) и степенным распределением (короткий пунктир).

Рассмотрим парциальные вклады в суммарное высотное энерговыведение $W(h)$ электронных потоков, имеющих степенной энергетический спектр и максвелловское распределение по энергиям для рассматриваемых случаев лучистых полярных сияний. На рис. 26 приведены высотные профили энерговыведения для электронных потоков, имеющих степенной энергетический спектр и максвелловское распределение по энергиям. Из рисунка видно, что на высотах больше 250 км именно потоки электронов со степенным распределением по энергии формируют значительную вертикальную протяженность энерговыведения и, следовательно, интенсивность излучения в лучистых структурах, что является принципиальным отличием от высотного распределения энерговыведения в спокойных дугах и полосах полярных сияний.

Морфологически события, рассмотренные здесь, представляли собой лучистые полосы [3]. Поэтому полученные результаты позволяют предположить, что лучистые структуры в полярных сияниях формируются благодаря сбросу в ионосферу электронов, имеющих степенное распределение по энергиям. Такое распределение может формироваться при попадании тепловых электронов ионосферного происхождения, имеющих степенное распределение плотности по высоте, в околоземную часть области ускорения. В этом случае за счет разного пройденного пути в ускоряющем поле степенное высотное распределение электронов преобразуется в степенное распределение по энергии в высыпающемся пучке. Детальное рассмотрение формирования энергетического спектра высыпающихся электронов

требует комплексного моделирования динамики магнитосферно-ионосферного взаимодействия, что выходит за рамки данной работы.

Список используемой литературы

1. Иванов В.Е., Козелов Б.В. Прохождение электронных и протонно-водородных пучков в атмосфере Земли. Апатиты: Кольский научный центр. 2001.

2. Kozelov, B. V., Pilgaev, S. V., Borovkov, L. P., and Yurov, V. E.: Multi-scale auroral observations in Apatity: winter 2010–2011 //Geosci. Instrum. Method. Data Syst. 2012. V.1. P. 1–6.

3. Козелов Б.В., Дашкевич Ж.В., Иванов В.Е, Исследование лучистых структур полярных сияний триангуляционными методами: 1. Интенсивность излучения // в печати

4. Дашкевич Ж.В., Иванов В.Е., Козелов Б.В. Исследование лучистых структур полярных сияний триангуляционными методами: 2. Энергетические спектры авроральных электронов. // в печати

5. Проанализировано две ситуации в пульсирующих полярных сияниях, в которых ориентация пульсирующих квазидуг была принципиально разной – вдоль и поперек меридиана.

Пульсирующие сияния являются вторым по степени изученности авроральным явлением после авроральных дуг. Их основные морфологические характеристики и возможные механизмы генерации суммированы, например, в обзоре Lessard [2013]. В частности, показано, что наряду с пульсациями светимости с периодом порядка 10 с («главные пульсации»), наблюдаются мерцания с частотой 3 ± 1 Гц («внутренняя модуляция»). Не смотря на многолетние исследования, все еще дискуссионным остается вопрос о причинах, заставляющих свечение периодически включаться/выключаться, а также мерцать с более высокой частотой в течении интервала «включено».

Существуют две точки зрения на природу пульсаций светимости. Наиболее распространенным и принятым практически всем научным сообществом механизмом считается периодическое рассеяние электронов в конус потерь. Гипотеза опирается на спутниковые измерения волновой активности в области плазменного слоя магнитосферного хвоста, магнитосопряженной, по мнению авторов, с пульсирующей формой в ионосфере.

Другая точка зрения базируется также на спутниковых данных, но это уже был низкоорбитальный спутник, для которого точность сопряжения не так сильно зависит от выбора модели геомагнитного поля (см., например, Сафаргалеев и Сафаргалеева, 2018). По характеристикам высыпающихся частиц был сделан вывод, что причиной пульсаций потока высыпающихся частиц (и, как следствие, пульсаций светимости) могут быть периодические изменения продольной разности потенциалов в области, расположенной выше спутника, но на значительном удалении от экваториальной плоскости магнитосферы (Sato et al., 2004).

О наличии ускорения можно судить по динамике высоты свечения, определяемой по наземным оптическим данным. О наличии или отсутствии волн, рассеивающих частицы в конус потерь, можно судить по наземным магнитным данным в окрестности пульсирующей формы в предположении, что эти волны распространяются вдоль силовых линий геомагнитного поля, благодаря чему попадают в ионосферу из области генерации, расположенной в экваториальной плоскости магнитосферы. Ниже мы представим результаты проведенных нами соответствующих исследований в кратком изложении.

Высота свечения определялась методом оптической «томографии» (Gustavsson, 1998). Метод предполагает наличие как минимум двух синхронизированных камер, расположенных

на расстоянии несколько десятков километров дуг от друга. Мы использовали данные двух WMI камер полного обзора неба Национального института полярных исследований, Японии, установленных в пунктах Кируна (KRN) и Чаучас (TJA) на севере Швеции. Для исследования внутренней модуляции свечения нами использовалась высокоскоростная камера PSA EMCCD, работающая в TJA в рамках японского проекта PWING. Для исследования высокочастотных геомагнитных пульсаций мы использовали данные индукционного магнитометра Шведского института космической физики в KRN.

Для метода томографии критичным является положение исследуемой авроральной формы в общем для обеих камер поля зрения. Это условие, а также чистое небо над обоими пунктами, наличие именно пульсирующих сияний и одновременная работа всех трех камер наложило достаточно жесткие условия на критерий отбора оптических данных. В результате пригодным для анализа мы сочли полутораминутный интервал, относящийся к фазе восстановления магнитосферной суббури, произошедшей в ночь с 14 на 15 марта 2018 года. На рисунке 27 показано положение системы пульсирующих дуг относительно пунктов наблюдений (левая панель) и кеограмма, демонстрирующая наличие в околзенитной дуге как главных пульсаций светности, так и внутренней модуляции (правая панель).

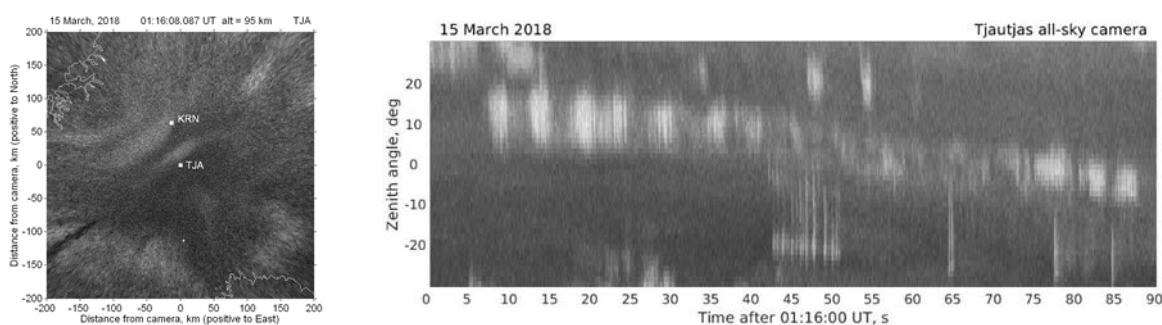


Рис. 27. Пульсирующие сияния в поле зрения трех камер

Результаты исследований состоят в следующем.

1. Из двух близких друг к другу друг пульсирующих дуг, внутренняя модуляция светимости обнаруживается в той, которая расположена ниже (рис. 28).

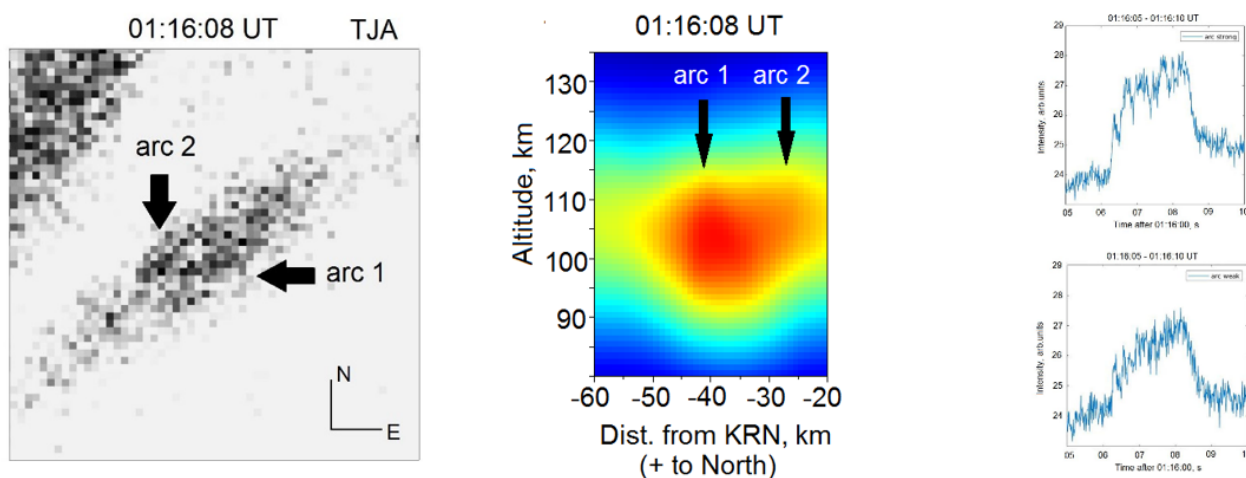


Рис. 28. Две близкие пульсирующие дуги (левая панель); высотный профиль светимости, рассчитанный методом оптической томографии (центральная панель); внутренняя модуляция светимости в более сильной дуге arc 1, и отсутствие внутренней модуляции в более слабой дуге arc 2 (правая панель), расположенной выше, чем arc 1.

2. При усилении светимости дуги в время главных пульсаций ее высота уменьшается (рис. 29).

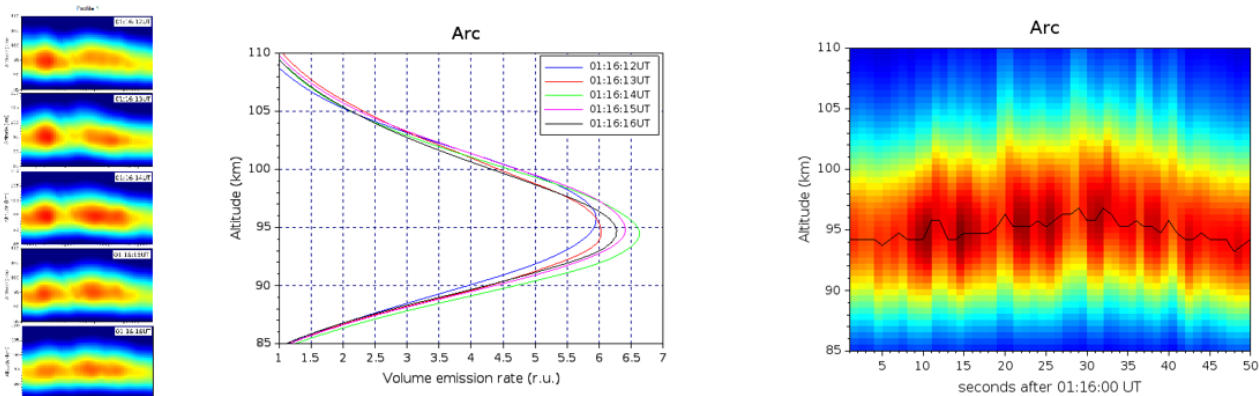


Рис. 29. Динамика профиля светимости (левая и центральная панели); периодические изменения среднего значения высоты сияний на правой панели происходят синхронно с изменением яркости (коричневая кривая).

Поскольку высота свечения зависит от энергии высыпавшихся частиц, эти два результата интерпретируются нами как признак наличия периодически меняющейся продольной разности потенциалов в области над светящейся формой, что согласуется с гипотезой Sato et al., 2004.

3. Проанализированы две ситуации в пульсирующих полярных сияниях, когда ориентация пульсирующих дуг была разной – вдоль и поперек меридиана (рис. 30, левая панель). Геомагнитные пульсации, ассоциированные с высокочастотными пульсациями светимости (3 ± 1 Гц), более выражены в магнитной компоненте, перпендикулярной к пульсирующей дуге, чем в компоненте вдоль дуги (рис. 30, правая панель).

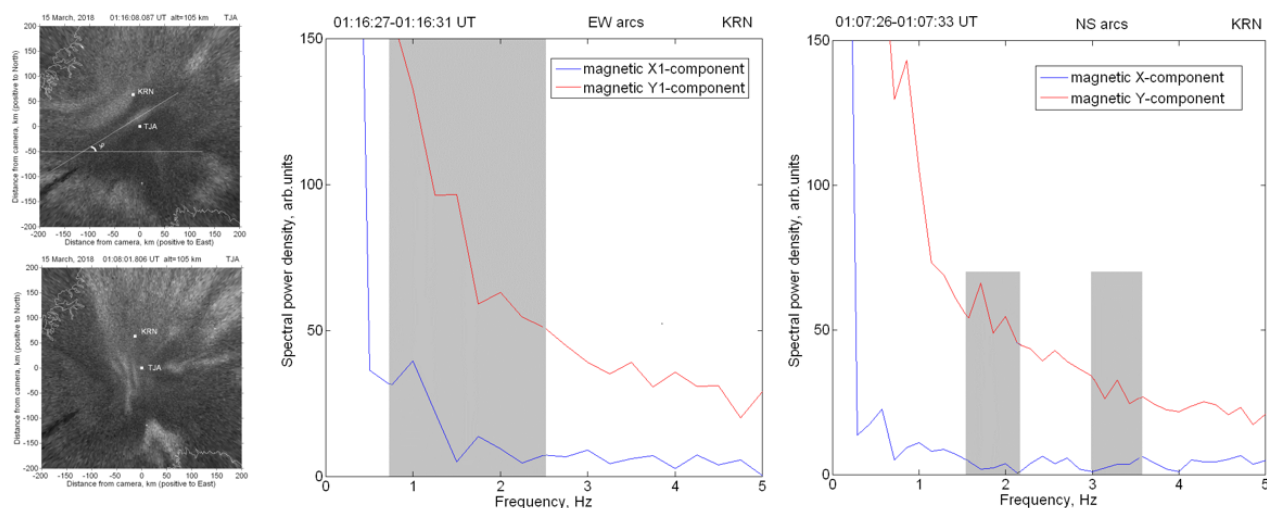


Рис. 30. Разная ориентация пульсирующих дуг (левая панель); спектр магнитных вариаций в Кируне, интервалы частот, где можно ожидать проявления эффекта внутренней модуляции, выделены серым (правая панель).

Результат может указывать на то, что магнитные пульсации на частоте внутренней (оптической) модуляции обусловлены, скорее, модуляцией ионосферного тока высыпавшимися частицами, чем приходом в ионосферу модулирующей волны. В этом случае результат поддерживает высказанную выше гипотезу о периодическом ускорении частиц, «ответственных» за внутреннюю модуляцию свечения.

Мы полагаем, что вариации продольной разности потенциала могли быть вызваны периодическим включением/выключением области аномального сопротивления в продольном токе, вытекающем из области свечения (Сафаргалеев, 1996).

Список используемой литературы:

1. M. R. Lessard, in A review of Pulsating Aurora. Auroral Phenomenology and Magnetospheric Processes: Earth and Other Planets. Geophys. Monogr. Ser., vol. 197 (2013), pp. 55-68, doi:10.1029/2011GM001187.
2. В.В. Сафаргалеев, Н.Н. Сафаргалеева. О точности сопряжения высокоорбитальных спутников с мелкомасштабными областями в ионосфере // Космические исследования, 2018.Т. 56, №. 2, pp. 128–136.
3. N.D. Sato, D. M. Wright, C. W. Carlson, Y. Ebihara, M. Sato, T. Saemundsson, S. Milan, and M. Lester (2004), Generation region of pulsating aurora obtained simultaneously by the FAST satellite and a Syowa-Iceland conjugate pair of observatories, J. Geophys. Res., 109, A10201, doi:10.1029/2004JA010419.
4. B. Gustavsson. Tomographic inversion for ALIS noise and resolution, J. Geophys. Res., 103 (A11), 26,621-26,632, doi:10.1029/98JA00678, 1998.
5. В.В. Сафаргалеев. Возмущения в магнитосферно-ионосферной системе. Автореферат дисс. на соискание степени к.ф.м.-н. С-ПбГУ, 1996.

Публикация:

В.В. Сафаргалеев, Т.И. Сергиенко, К. Хосокава, В.Н. Митрофанов. Влияние ориентации пульсирующей дуги на свойства связанных с ней геомагнитных пульсаций (представлена для публикации в трудах семинара Физика авроральных явлений) // Proc. 43rd Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», p. 128-131, Apatity, 2020.

6. Проведение наблюдений вариаций геомагнитного поля на обсерваториях Ловозеро и Лопарская.

Обсерватория Ловозеро: регулярные наблюдения вариаций геомагнитного поля и КПК, кратковременных вариаций электрического поля Земли, телевизионные наблюдения полярных сияний.

Обсерватория Лопарская: регулярные наблюдения вариаций магнитного поля Земли.

Поддерживается доступ к обзорным данным через сеть интернет.

Исследование электромагнитного воздействия факторов космической погоды на технологические системы:

Продолжалась регистрация ГИТ на подстанциях «Карелэнерго». Работа выполняется с участием Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН (<http://www.en51.ru/>).

По данным наблюдений и архивных материалов для Северо-запада России будут определены зоны, наиболее подверженные низкочастотным электромагнитным помехам в периоды геомагнитных возмущений. Метод оценки уровня опасности для тех или иных географических зон был выбран по аналогии с подходом, использованным в Канаде для построения зон повышенной геомагнитной активности [nrcan.gc.ca]. За выбранный интервал времени по данным магнитовариационных станций проведена оценка среднего за год времени, когда геомагнитное поле отличалось от спокойного на величину, большую 50 нТ. Суточный ход линии спокойного поля оценивался для каждого месяца по усреднению

вариации трех спокойных дней. Оценка выполнена за 2015г., за исключением ст. Карпогоры, для которой использованы пригодные данные за 10 месяцев 2012 г.

В пунктах регистрации геомагнитных вариаций определена суммарная продолжительность возмущенного геомагнитного поля за год в процентах от времени наблюдения (см. таблицу 1).

В таблице 2 приведена оценка суммарной продолжительности периодов возмущенного геоэлектрического поля за год в процентах от времени наблюдения за 2016 г. В качестве оценки возмущенности геоэлектрического поля принята величина первой разности приращения горизонтальной компоненты вариации геомагнитного поля при шаге по времени $\Delta t = 1$ мин. Уровень обрезания принят 20 нТ/мин.

Таблица 1. Длительность периодов геомагнитных возмущений

Станция	Код	Координаты географические		Продолжительность возмущений
Баренцбург	BAB	78.07° N	14.21° E	6.5
Лопарская	LOP	68.63° N	33.25° E	20.93
Ловозеро	LOZ	67.97° N	35.02° E	19.11
Карпогоры	KRP	63.50° N	43.00° E	6.12
Красное озеро	RDL	60.55° N	29.70° E	3.19
Москва	MOS	55. 48° N	37. 32°E	0.34

Таблица 2. Длительность периодов геоэлектрических возмущений

Станция	Код	Координаты географические		Продолжительность возмущений
Баренцбург	BAB	78.07° N	14.21° E	3.78
Лопарская	LOP	68.63° N	33.25° E	3.32
Ловозеро	LOZ	67.97° N	35.02° E	2.98
Карпогоры	KRP	63.50° N	43.00° E	
Красное озеро	RDL	60.55° N	29.70° E	0.13
Москва	MOS	55. 48° N	37. 32°E	0.028

Полученные результаты вполне объяснимы для данной плотности расположения вариационных станций. В соответствии с положением аврорального овала исследуемый сектор европейской части России попадает в достаточно низкие широты в дневное время, и захватывает область овала в ночное время. Выделенная зона повышенной геомагнитной активности совпадает с границей авроральной и субавроральной зон. Именно в такой зоне в каждом конкретном событии располагается западный электрождет в ночном секторе [Feldstein et al., 2007]. В области полярной шапки геомагнитные вариации проявляются реже, чем в авроральной зоне. В то же время вариабельность геомагнитно поля может быть достаточно высокой, что и видно в таблице 2. Такой эффект может быть связан с достаточно высоким уровнем низкочастотных пульсаций при практически любом уровне активности [Semenova & Yahnin, 2008].

Основываясь на результатах регистрации ГИТ и полученных выводах о частоте проявления геомагнитных возмущений в районе географического меридиана 30°E, нами продолжены исследования морфологических особенностей проявлений наводок в энергосетях при различных уровнях геомагнитных возмущений. В работе [Сахаров и др. 2019] приведены результаты анализа возмущений, содержавших наиболее сильные токи

(ГИТ) на ст. Выходной [Сахаров и др. 2016]. Для сопоставления величины возбуждаемых в энергосистеме токов на различных подстанциях, составлена таблица 3, в которой, наряду с данными по частоте электромагнитных возмущений, приведены данные о максимальных значениях ГИТ на подстанциях Выходной, Лоухи, Кондопога за шесть выбранных событий 07.09.2017; 27.03.2013; 29.06.2013; 17.03.2015; 01.06.2013; 08.09.2015.

Для наглядности данные таблицы представлены на рис. 31.

Таблица 3. Максимальные амплитуды ГИТ в шести возмущениях

Станция	Код	Геогр. широта	Продол. л. В	Продол. л. dB/dt	0709 2017	2703 2013	2906 2013	1703 2015	0106 2013	0809 2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Баренцбург	BAV	78.07° N	6.5	3.78						
Выходной	VKH	68.83° N			85	80	70	60	48	40
Лопарская	LOP	68.63° N	20.93	3.32						
Ловозеро	LOZ	67.97° N	19.11	2.98						
Лоухи	LKH	66.08° N			-	4	4	3.2	4.5	-
Кондопога	KND	68.63° N			6.5	2.5	15	9	1.5	5
Карпогоры	KRP	62.22° N	6.12							
Кр.озеро	RDL	60.55° N	3.19	0.13						
Москва	MOS	55. 48° N	0.34	0.028						

В столбцах 4,5 приведены статистические данные о продолжительности геомагнитных и геоэлектрических возмущениях в % от времени наблюдений (см. Таблицы 1 и 2);

В столбцах 6 – 11 приведены максимальные значения ГИТ на подстанциях в выбранных возмущениях.

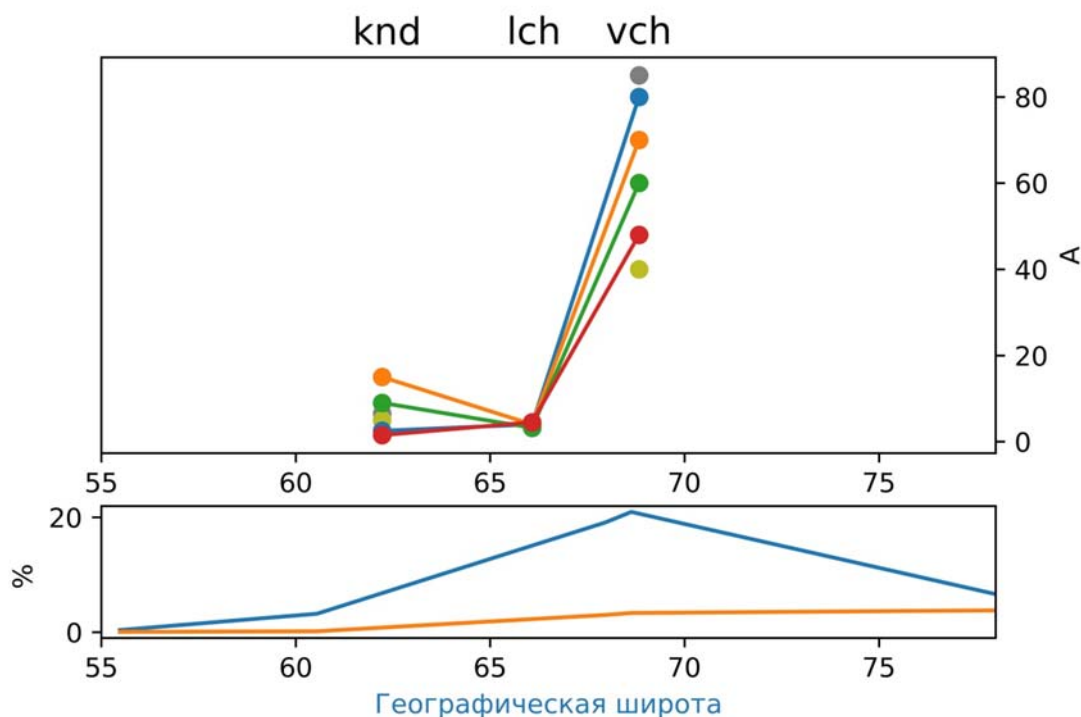


Рис. 31. Внизу: Частоты возмущений геомагнитного (синий) и геоэлектрического (жёлтый) полей в районе географического меридиана 30°E; Вверху: Максимальные амплитуды ГИТ в шести возмущениях на подстанциях Кондопога, Лоухи, Выходной.

Полученный результат вполне согласуется с общим распределением амплитуд ГИТ по широте, представленным ранее по наблюдениям за 2012 г. [Сахаров и др. 2016] и не противоречит планетарному распределению амплитуды возмущений по широте [Pulkkinen et al., 2012].

Список используемой литературы:

1. Воробьев В.Г., Сахаров Я.А., Ягодкина О.И., Петрукович А.А., Селиванов В.Н. Геоиндуцированные токи и их связь с положением западной электроструктуры и границами авроральных высыпаний // «Труды КНЦ РАН. Гелиогеофизика» (выпуск №4). 2018.
2. Сахаров Я.А., Каткалов Ю.В., Селиванов В.Н., Вильянен А., Регистрация геоиндуктированных токов в региональной энергосистеме, сб. Практические аспекты гелиогеофизики, Материалы специальной секции «Практические аспекты науки космической погоды» одиннадцатой ежегодной конференции «Физика плазмы в солнечной системе», 17 февраля 2016 г., Москва, ИКИ, 2016, стр.134-145
3. Сахаров Я.А., Ю.В. Каткалов, В.Н. Селиванов, А. Вильянен, Регистрация геоиндуктированных токов в региональной энергосистеме // Сб. Практические аспекты гелиогеофизики, Материалы специальной секции «Практические аспекты науки космической погоды» 11-й ежегодной конференции «Физика плазмы в солнечной системе», 17 февраля 2016 г., Москва, ИКИ, 2016. С. 134-145.
4. Я.А. Сахаров, В.Н. Селиванов, В.А. Билин, В.Г. Николаев, Экстремальные величины геоиндуктированных токов в региональной энергосистеме, in PHYSICS OF AURORAL PHENOMENA, of the 42nd Annual Seminar, Apatity, 11 – 15 March 2019 с. 53-56, 2019
5. Feldstein Y.I., Prigancova A., Vorobjev V.G., Cumnock J.A., Starkov G.V., Yagodkina O.I., Blomberg L.G. High-latitude electrojets, auroral luminosity and auroral particle precipitations // “Physics of Auroral Phenomena”. Proc. XXX Annual Seminar. Apatity. 2007. P. 55-59.
6. [nrcan.gc.ca]. <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/maps/geology-and-geosciences/16876#naturalhazards>
7. Semenova N. V. & Yahnin A. G., Diurnal behaviour of the ionospheric Alfvén resonator signatures as observed at high latitude observatory Barentsburg (L=15), Ann. Geophys., 26, 2245–2251, 2008
8. Pulkkinen A, Bernabeu E, Eichner J, Beggan C, Thomson A (2012) Generation of 100-year geomagnetically induced current scenarios // Space Weather doi:10.1029/2011SW000750

Заключение

Работы, запланированные на 2020 год, выполнены в полном объеме. Результаты опубликованы или направлены в печать; они были доложены на российских и международных конференциях. Исследования в рамках утвержденной темы продолжаются в соответствии с планами фундаментальных научных исследований.

ТЕМА: Исследование вариаций химического состава, электрических явлений, неоднородной пространственной структуры и динамических процессов в атмосферах Земли и других планетных тел (0227-2019-0006)

В рамках настоящей темы работали сотрудники лаборатории атмосферы Арктики и сектора теоретического моделирования. Руководители темы: д.ф.-м.н. А.С. Кириллов, д.ф.-м.н. В.С. Мингалев.

Исследования по этой теме проводятся в рамках программы государственных академий наук на 2013-2020 годы – п.16 «Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач».

Целью работы является исследование вариаций химического состава, электрических явлений, неоднородной пространственной структуры и динамических процессов в атмосферах Земли и других планетных тел. Применяемыми в работе методами исследований являются теория, эксперимент и математическое моделирование.

В 2020 г. были получены следующие **основные результаты**:

1. Разработан метод определения скорости вертикального переноса атомарного кислорода и водорода в мезосфере и нижней термосфере Земли, а также высотного распределения коэффициента турбулентной диффузии K_z в мезосфере, основанный на анализе данных ракетных и спутниковых измерений ночной интенсивности $I_{9.6}$ ИК-излучения озона в колебательно-вращательной полосе 9.6 мкм и результатах моделирования аэрономических процессов переноса, образования и разрушения озона в мезосфере и нижней термосфере. Выполнены расчёты высотных профилей концентрации O_3 , O , H и других малых компонентов, а также коэффициента K_z и интенсивности свечения $I_{9.6}$ с использованием данных ракетных измерений излучения в полосе 9.6 мкм озона в ночной полярной атмосфере на высотах 50-110 км. Измеренные и восстановленные из модели профили интенсивности свечения озона находятся в удовлетворительном согласии друг с другом.

Аэрономия атмосферного озона на высотах мезосферы и нижней термосферы (МНТ) Земли, приблизительно от уровня стратосферы (50 км) до гомосферы (100 км), представляет собой важный объект исследования так, как изменение содержания озона в верхней атмосфере характеризует как естественные многолетние изменения климата нашей планеты, так и усиливающееся влияние на климат деятельности человека. Более того, содержание озона в верхней атмосфере в конечном счёте может быть связано с химической эволюцией состава всей атмосферы и её теплового режима на геологически-длительных интервалах времени под воздействием вековых вариаций потоков солнечного УФ-излучения. В силу указанных причин изучение фотохимии озона в мезосфере и стратосфере является важной задачей атмосферных исследований, целью которых является определение детальных взаимных связей между протекающими в атмосфере циклами химических реакций, констант скоростей ключевых реакций компонентов и роли динамических транспортных процессов, включая молекулярную и турбулентную диффузию, а также глобальную циркуляцию атмосферы.

Цель настоящего этапа работы, которая является частью большой исследовательской программы, заключается в разработке метода определения скорости вертикального переноса атомарного кислорода и водорода в нижней термосфере и мезосфере Земли, а также высотного распределения коэффициента вертикальной турбулентной диффузии в мезосфере, основанного на использовании накопленных данных ракетных и спутниковых измерений ночного ИК-излучения озона в колебательно-вращательной полосе 9.6 мкм, а также результатов моделирования аэрономических процессов переноса, образования и разрушения озона.

Общая идея метода решения указанной выше задачи – определения основных параметров теоретической модели химического баланса скоростей образования и разрушения озона по данным реальных измерений – была применена в [1] для анализа результатов дневных ракетных измерений Оз разными методами в проекте *Алладин-74* [2]. В данной же работе метод определения ключевых параметров верхней атмосферы, включая профили концентрации озона и других связанных с ним компонентов, а также коэффициента турбулентной диффузии, основан на аппроксимации измеренных ночных профилей интенсивности ИК-эмиссии 9.6 мкм озона профилями, рассчитанными из специально построенной для этой цели модели.

В предлагаемом методе определения параметров атмосферы в области МНТ по данным ракетных и спутниковых измерений ИК-излучения озона использованы две модели – химическая и радиационная. Для определения химического состава атмосферы в области МНТ решается система жёстких, дифференциальных, нестационарных уравнений неразрывности для химически-активных и химически-стабильных компонентов кислорода и водорода с учётом их вертикального переноса за счёт адвекции, молекулярной и турбулентной диффузии, а также образования и разрушения компонентов в основных химических реакциях, но без учёта процессов фотолиза в условиях полярной ночи.

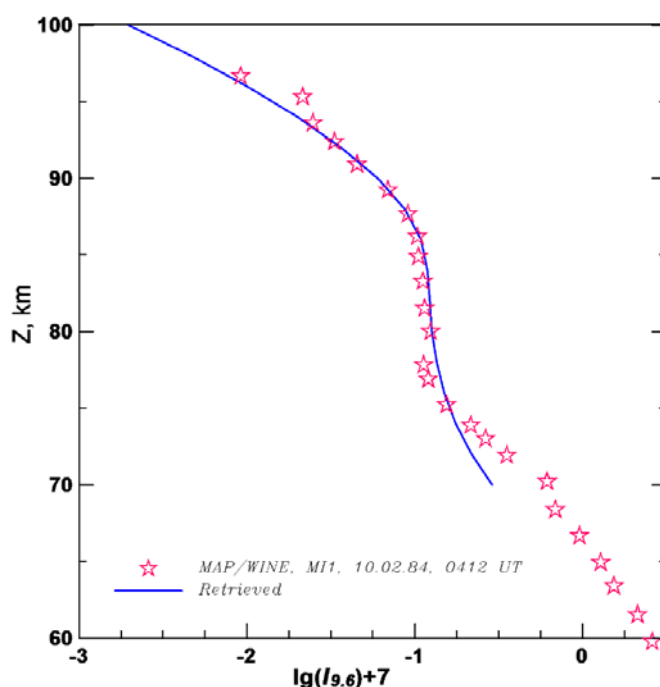


Рис. 32. Результаты измерений интенсивности $I_{9.6}$ излучения озона ($\text{Вт}/\text{см}^2$).

На высотах вблизи мезопаузы и выше ИК излучение фундаментальной асимметричной моды колебаний (001) молекул ОЗ является термодинамически неравновесным, вследствие чего на каждой высоте более ~70 км для найденной из аэрономической модели концентрации

озона в радиационной модели необходимо решать кинетическое уравнение баланса заселённости состояния 001. В модели учитываются химические, столкновительные и радиационные процессы возбуждения и деактивации состояния 001 молекулы озона. Интегрирование объёмных скоростей излучения по высоте даёт искомую интегральную интенсивность излучения в полосе 9.6 мкм озона.

Выполненные расчёты показали, что для ‘a priori’ выбранных, значений ключевых параметров модели верхней атмосферы, таких как усреднённые по данным измерений различных авторов высотные профили концентрации озона и коэффициента вертикальной турбулентной диффузии, а также наиболее вероятных значений нисходящих из термосферы потоков атомарного кислорода и водорода на верхней границе рассматриваемой области высот (70-110 км), рассчитанные и измеренные в конкретном ракетном эксперименте потоки излучения озона в полосе 9.6 мкм могут отличаться вплоть до порядка величины. И наоборот, для найденных по методу данной работы ключевых параметров области МНТ рассчитанный высотный профиль интенсивности излучения может практически совпадать с измеренным с точностью до ошибок измерения. На рис. 32 представлены для сравнения результаты измерений интенсивности $I_{9.6}$ излучения озона, полученные в ракетном эксперименте MAP/WINE [4] и рассчитанные по методу данной работы. Видно, что на высотах $z > 73$ км измеренный и восстановленный профили интенсивности излучения 9.6 мкм озона для условий полярной ночи практически совпадают.

Таким образом, предложенный метод позволяет по данным измерений интенсивности ИК-излучения озона в фундаментальной полосе 001 в ночных условиях высоких широт не только восстановить высотные профили концентрации озона, но и определить профили концентрации других химически связанных с ним компонентов атмосферы, а также ключевой параметр вертикального переноса в области МНТ – коэффициент вертикальной турбулентной диффузии. Применение данного метода для сравнения с многочисленными результатами спутниковых измерений высотных профилей концентрации озона, полученных в последние годы и выполненных другими методами, позволит верифицировать метод и определить дополнительные характеристики вариаций озона и динамики процессов переноса в области мезосферы и нижней термосферы.

Отв. исполнитель: с.н.с. Ю.Н.Куликов.

Литература

1. Allen, M., Y.L. Yung, J.W. Waters. Vertical transport and photochemistry in the terrestrial mesosphere and lower thermosphere (50-120 km). - *J.Geophys.Res.* – 1981. - v.86, No. A5, pp.3617-3627.
2. Weeks, L.H., R.E. Good, J.S. Randhawa, H. Trinks. Ozone measurements in the stratosphere, mesosphere, and lower thermosphere during Alladin 74. - *J.Geophys. Res.* – 1978. - v.83, pp.978-982.
3. Allen, M., J.I. Lunine, Y.L. Yung. Vertical distribution of ozone in the mesosphere and lower thermosphere. - *J. Geophys. Res.* – 1984. - v.89, No. D3, pp.4841-4872.
4. Grossmann, K.U., H.G. Bruckelmann, D. Offermann, P. Schwabbauer, R. Gyger, K. Kunzi, et al. Middle atmosphere abundances of water vapor and ozone during MAP/WINE. – *J.Atmos.Terr.Phys.* - 1987. - v. 49, No. 7/8. pp.827-841.

2. Получены количественные оценки зависимости приземной концентрации озона (ПКО) в г. Апатиты от вертикального распределения температуры воздуха в нижней

атмосфере. В условиях загрязненного городского воздуха наиболее высокие ПКО соответствуют условиям неустойчивой стратификации, а наиболее низкие ПКО наблюдаются при инверсиях. Экспериментально установлен слой воздуха (300-350 м от поверхности Земли), термодинамические характеристики которого наиболее сильно влияют на накопление озоноразрушающих веществ и ПКО.

По результатам измерений в г. Апатиты установлена зависимость ПКО от характера вертикального распределения температуры воздуха. В условиях загрязненного городского воздуха наиболее высокие ПКО соответствуют условиям неустойчивой стратификации, а наиболее низкие наблюдаются при инверсиях, когда турбулентный воздухообмен и приток озона сверху ослаблен и, одновременно, происходит накоплению загрязняющих веществ в приземном слое (рис. 33).

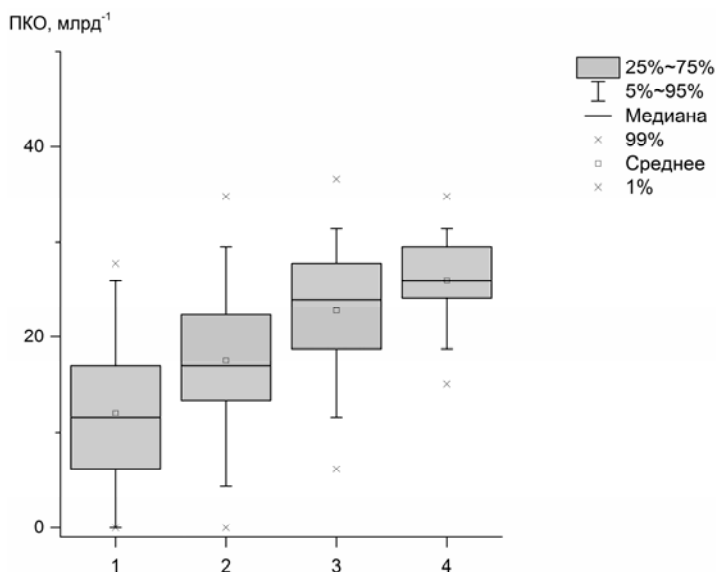


Рис. 33. Распределение ПКО в г. Апатиты при разных значениях среднего вертикального градиента температуры воздуха (γ) в слое от Земли до 300 м: 1 – $\gamma < 0^\circ\text{C}/100\text{ м}$ (инверсия), 2 – $0 \leq \gamma < 0.65^\circ\text{C}/100\text{ м}$ (устойчивая), 3 – $0.65 \leq \gamma < 0.98^\circ\text{C}/100\text{ м}$ (условно неустойчивая), 4 – $\gamma \geq 0.98^\circ\text{C}/100\text{ м}$ (абсолютно неустойчивая)

Корреляция ПКО и вертикального градиента температуры возрастает от поверхности Земли к некоторому уровню, а выше начинает снова снижаться (рис. 34). По результатам предварительных измерений в г. Апатиты (август – ноябрь 2020 г.) с использованием вертикального температурного профилемера МТП-5 уровень с наибольшей корреляцией находится на высоте примерно 300-350 м. Выдвинуто предположение, что уровень наибольшей корреляции соответствуют реальному положению верхней границы слоя перемешивания (СП), в котором происходит рассеяние озоноразрушающих веществ (окислы азота, углеводороды, аэрозоли). Оценки СП без учета химических процессов по значению высоты пограничного слоя атмосферы могут различаться на десятки и сотни процентов в зависимости от используемой модели и подхода и не вполне пригодны для решения экологических задач.

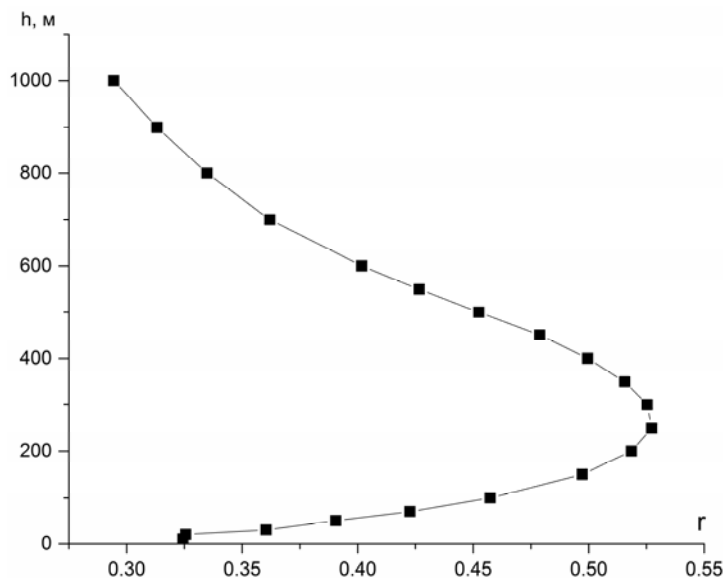


Рис. 34. Изменение с высотой коэффициента корреляции (r) ПКО и среднего вертикального градиента температуры в слое от поверхности Земли до выбранной высоты h , г. Апатиты, август-ноябрь 2020 г.

Отв. исполнитель: н.с. В.И. Демин.

Публикации:

1. Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Лапченко В.А., Демин В.И. Содержание озона над территорией Российской Федерации в 2019 г. // Метеорология и гидрология. 2020. №3. стр. 127-135

2. Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Демин В.И., Лапченко В.А. Содержание озона над территорией Российской Федерации в первом квартале 2020 г. // Метеорология и гидрология. 2020. №6. стр. 135-144

3. Рассмотрена связь между вариациями эквивалентных ионосферных токов, вычисляемым по данным магнитометров сети IMAGE, с интенсивностью геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ) в линиях электропередач на Кольском полуострове во время сильной магнитной бури 7-8 сентября 2017 года.

Показано, что рост ГИТ (до 85 А) определяется суммарным вкладом как вихревых токовых систем, так и аврорального электроджета. В отдельных случаях может преобладать вклад аврорального электроджета, в других случаях – вклад вихревых токовых систем. Ночные уединенные геомагнитные импульсы на фоне суббури с вихревой структурой ионосферных токовых систем способны приводить к дополнительному росту величины ГИТ. Поэтому генерация интенсивных ГИТ в значительной степени связана не с глобальными геомагнитными возмущениями большой амплитуды, а с локальными быстрыми вариациями сравнительно небольшой амплитуды, наложенными на глобальные возмущения.

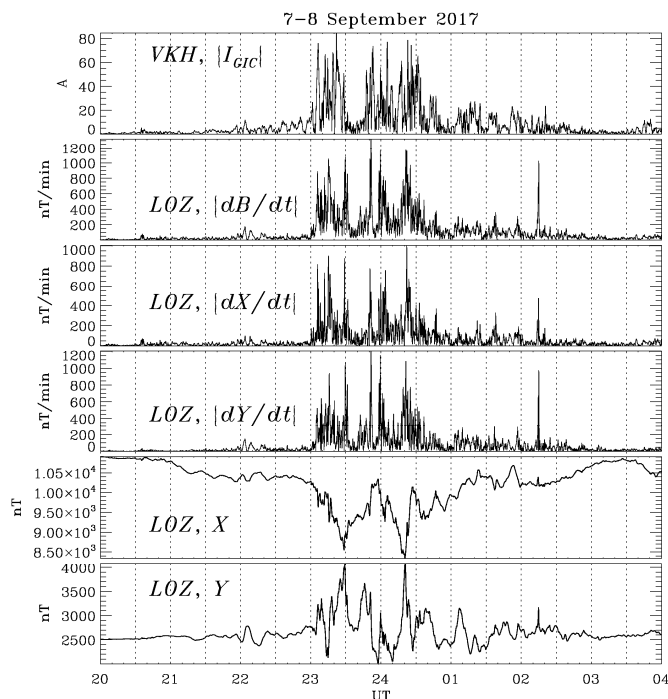


Рис. 35. Вариации ГИТ на станции VKH, вариации модуля производных dB/dt , dX/dt , dY/dt на станции LOZ, вариации X, Y-компонент геомагнитного поля на станции LOZ 7-8 сентября 2017.

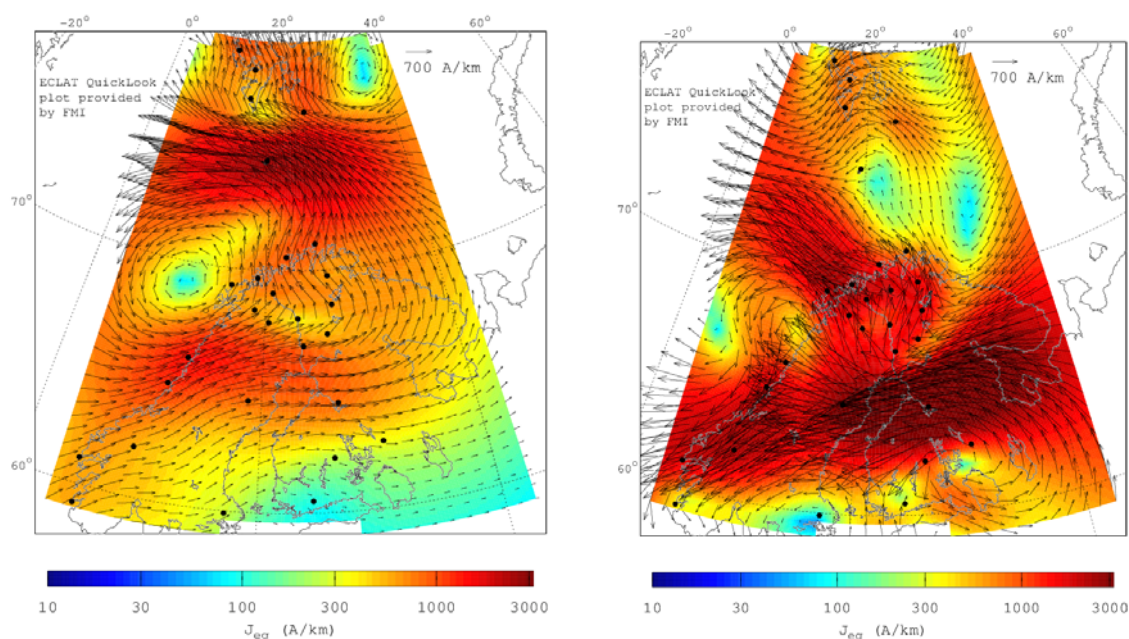


Рис. 36. Двухмерные эквивалентные ионосферные токи, построенные по данным магнитометров сети IMAGE, 7-8 сентября 2017 в 16.05 UT (слева) и в 23.57 UT (справа) в районе Скандинавии, Кольского полуострова

Отв. исполнитель: с.н.с. В.Б. Белаховский.

Публикация:

Belakhovsky V.B., Pilipenko V.A., Sakharov Ya.A., Selivanov V.N. The GIC registered in electric power lines during strong magnetic storm on 7-8 September 2017 // Proceedings of the Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere, and Atmosphere Workshop 2020, Bulgaria (submitted).

4. Исследованы механизмы образования электронно-возбужденного $O_2(b^1\Sigma_g^+, v)$ и свечения Атмосферных полос молекулярного кислорода в нижней полярной ионосфере. Показано, что определяющий вклад в свечение полос 762 и 771 нм вносят процессы прямого возбуждения авроральными электронами и перенос энергии электронного возбуждения с метастабильного атомарного кислорода $O(^1D)$.

Рассмотрены процессы возбуждения $O_2(b^1\Sigma_g^+, v)$ и свечения Атмосферных полос молекулярного кислорода



в нижней полярной ионосфере (80-120 км).

Расчет проведен для различных процессов.

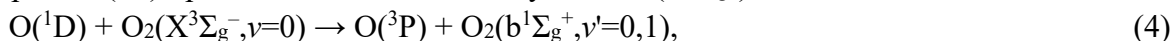
1. Процесс прямого возбуждения синглетного состояния авроральными электронами



2. Процесс возбуждения метастабильного атомарного кислорода $O(^1D)$ авроральными электронами

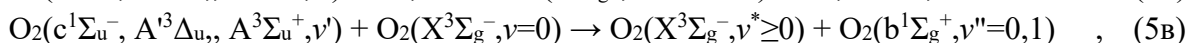
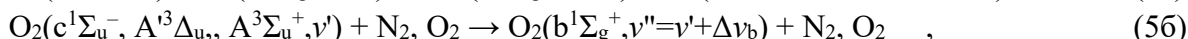
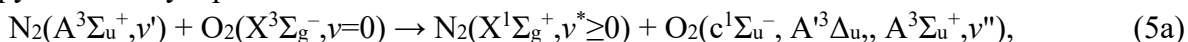


и реакция переноса энергии электронного возбуждения с метастабильного атомарного кислорода $O(^1D)$ при столкновении с молекулами $O_2(X^3\Sigma_g^-)$

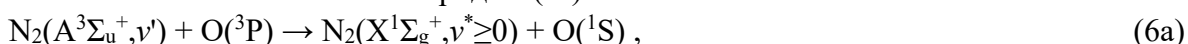


где квантовые выходы $f(v'=0)=0.2$ и $f(v'=1)=0.8$.

3. Процесс переноса энергии электронного возбуждения с метастабильного молекулярного азота $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ при столкновении с молекулами кислорода $O_2(X^3\Sigma_g^-)$ на состояния Герцберга $c^1\Sigma_u^-, A'^3\Delta_u, A^3\Sigma_u^+$ с последующими переходами в состояние $b^1\Sigma_g^+$ при неупругих молекулярных столкновениях



и при столкновении с атомами кислорода $O(^3P)$



когда происходит возбуждение синглетного состояния 1S с последующим переходом в состояние 1D с излучением линии 557.7 нм и возбуждением $O_2(b^1\Sigma_g^+, v'=0,1)$ при столкновениях (4).

4. Процесс возбуждения метастабильного атомарного кислорода $O(^1S)$ авроральными электронами



с последующим излучением линии 557.7 нм (процесс (6б)) и возбуждением $O_2(b^1\Sigma_g^+, v'=0,1)$ при столкновениях (4).

На рис. 37 и 38 показаны вклады всех четырех процессов в свечение полос 762 нм (переход (1) с $v'=v''=0$) и 771 нм (переход (1) с $v'=v''=1$) для высыпаний авроральных электронов с энергиями 40 кэВ. Как видно из представленных рисунков, для обоих колебательных уровней $v'=0,1$ состояния $b^1\Sigma_g^+$ значительный вклад в возбуждение вносит процесс (2) с участием метастабильного атомарного кислорода $O(^1D)$. Кроме того, для $v'=0$ существенный вклад вносит прямое возбуждение авроральными частицами (1). Что касается процессов переноса энергии электронного возбуждения с метастабильного молекулярного азота $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ (5а-в) и (6а, б), то результаты расчетов не показали значительного вклада в возбуждение $O_2(b^1\Sigma_g^+)$. Этот результат расходится с выводами канадских ученых [Gattinger et al., 1996, Ann. Geophys., v.14, p.687] и [Llewellyn et al., 1999, Ann. Geophys., v.17, p.913], где

утверждалось о доминирующем вкладе процесса (5а-в) в образование $O_2(b^1\Sigma_g^+)$ на нижних высотах авроральной ионосферы. Авторы тех исследований предполагали, что при взаимодействии (5а-в) происходит перенос энергии возбуждения на молекулу O_2 с последующим образованием $O_2(b^1\Sigma_g^+)$. Однако квантово-химические расчеты и экспериментальные данные указывают на то, что при взаимодействии $N_2(A^3\Sigma_u^+, v' > 0)$ с O_2 происходит главным образом процесс диссоциации молекулы кислорода, а при взаимодействии $N_2(A^3\Sigma_u^+, v' = 0)$ с O_2 только около половины неупругих взаимодействий приводят к возбуждению состояний Герцберга $c^1\Sigma_u^-$, $A^1\Delta_u$, $A^3\Sigma_u^+$ в процессе (5а).

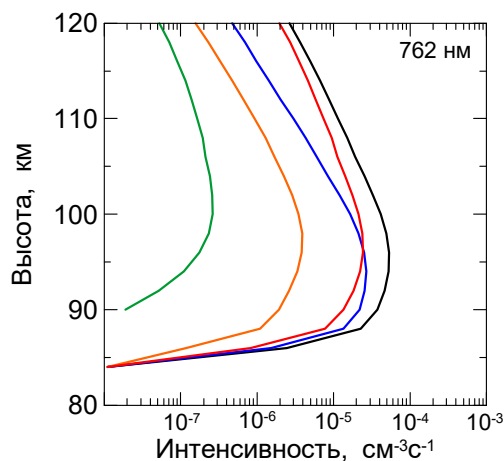


Рис. 37. Рассчитанные объемные интенсивности полосы 762 нм (черная линия). Вклады процессов 1-4: синяя, красная, оранжевая и зеленая линии, соответственно.

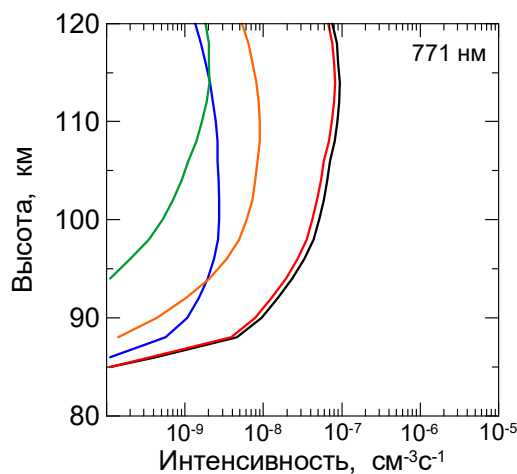


Рис. 38. Рассчитанные объемные интенсивности полосы 771 нм (черная линия). Вклады процессов 1-4: синяя, красная, оранжевая и зеленая линии, соответственно.

Отв. исполнитель: зав.лаб. А.С. Кириллов.

5. В обсерваториях Ловозеро (67.97°N, 35.02°E) и Баренцбурга (78.08°N, 14.22°E) проводятся непрерывная регистрация спектра поля атмосфериков (613 Hz – 3600 Hz). Приведены результаты обработки экспериментальных данных поля атмосфериков, полученных на двух авроральных обсерваториях.

Измерение спектральных характеристик поля атмосфериков позволяет получать информацию как о свойствах распространения радиоволн, входящих в рассматриваемый спектр, так и о свойствах среды распространения сигнала. На рис. 39 и 40 приведены

примеры амплитудно-частотных характеристик поля атмосфериков для трех временных отсчетов:

обсерватория Ловозеро (24.01.2020 г., 09:40, 10:40 и 11:50 UT),

обсерватория Баренцбург (19.03.2020 г., 00:10, 04:10 и 15:40 UT).

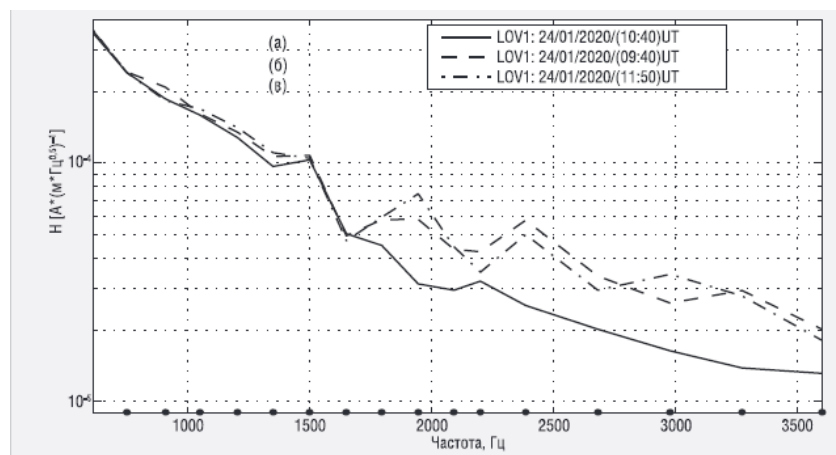


Рис. 39. Амплитудно-частотные характеристики поля атмосфериков в обсерватории Ловозеро.

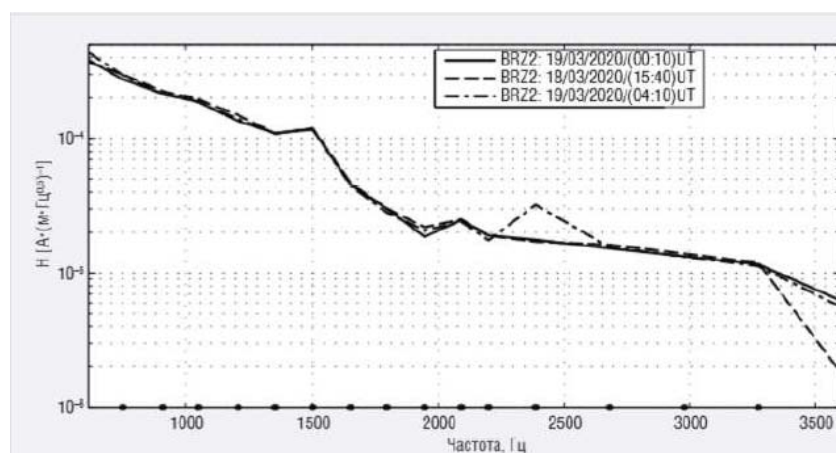


Рис. 40. Амплитудно-частотные характеристики поля атмосфериков в обсерватории Баренцбург.

Отв. исполнитель: вед. электроник Галахов А.А.

Публикации:

Галахов А.А. Анализатор спектра поля атмосфериков – инструмент изучения гелиогеофизической обстановки. // Современная Электроника, 2020, №8, с.30-35.

6. Рассмотрены процессы возбуждения и гашения электронно-возбужденного состояния $A^3\Sigma_u^+$ молекулярного кислорода в атмосфере Земли на высотах свечения ночного неба. Проведено сравнение рассчитанных интегральных интенсивностей полос Герцберга I с экспериментальными данными, полученными с космического корабля “Дискавери” (STS-53). Показано, что лучшее согласие наблюдается при коррекции квантовых выходов колебательных уровней состояния $A^3\Sigma_u^+$ в результате тройных столкновений, полученных ранее в научной литературе.

Получены значения интегральной светимости полос Герцберга I, обусловленных излучательными переходами с колебательных уровней $v'=3-8$ электронно-возбуждённого кислорода $O_2(A^3\Sigma_u^+)$ для условий низкой ($F_{10.7}=75$, 1976 и 1986 гг.) солнечной активности для

средних широт. Проведено сравнение рассчитанных значений интегральной светимости полос Герцберга I в условиях низкой солнечной активности с экспериментальными данными, полученными в диапазоне длин волн 260-360 нм спектрографом с космического корабля "Дискавери" (STS 53) [Broadfoot and Bellaire P.J., J. Geophys. Res., 1999, v.104, p.17127-17138] в условиях низкой солнечной активности (рис. 41). Сравнение экспериментальных данных с рассчитанными значениями интенсивностей полос показало, что лучшее согласие наблюдается после коррекции квантовых выходов колебательных уровней q_v состояния $A^3\Sigma_u^+$ в результате тройных столкновений $O + O + M \rightarrow O_2^* + M$, которые были получены в [Кириллов А.С. Геомагнетизм и Аэрономия, 2012, т.52, с.258-264]

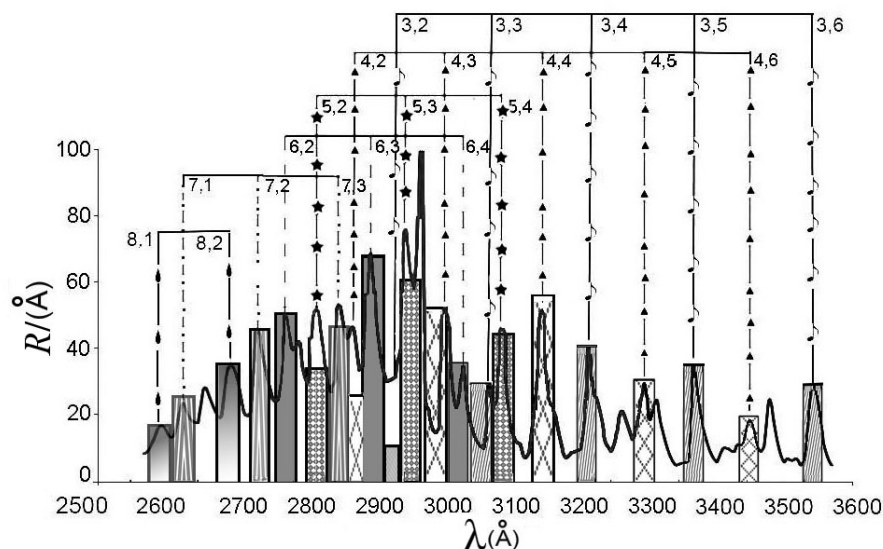


Рис. 41. Сравнение рассчитанных относительных значений интегральной светимости полос Герцберга I с учетом измененных квантовых выходов q_v с экспериментальными данными (с космического корабля "Дискавери" (STS 53)) спектра свечения ночного неба в диапазоне 250-360 нм.

Отв. исполнители: прог. Антоненко О.В., зав. лаб. Кириллов А.С.

Результаты исследований были представлены на конференции в Апатитах

Антоненко О.В., Кириллов А.С., Куликов Ю.Н. Моделирование спектра свечения ночного неба Земли для систем полос, излучаемых при спонтанных переходах между различными состояниями молекулы электронно-возбужденного кислорода. (Устный доклад) // Abstracts of the 43rd Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena" 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.54.

7. Проведен сравнительный анализ недельных измерений электрической проводимости нижней кромки ионосферы в условиях протонных высыпаний, начавшихся 29 сентября и 19 октября 1989 (Совместно с Санкт-Петербургским государственным университетом).

Длительные высыпания солнечных протонов в атмосферу Земли, начавшиеся 29 сентября и 19 октября 1989 года, являются одними из самых сильных и продолжительных подобных событий. Это обстоятельство позволило нам выполнить сравнение изменений электрической проводимости нижней кромки ионосферы, порождаемых этими высыпаниями, на основе СДВ эксперимента и теории ионосферных "скачков" для волноводного канала "Земля-ионосфера". Для такого сравнения были решены обратные

радиофизические задачи самосогласованным СДВ методом для часов заката для радиотрассы Алдра (Северная Норвегия) – Апатиты (Кольский полуостров) для нескольких суток после начала каждого из высыпаний. Результатами этих решений стали эффективные высоты как функции закатных часов для радиотрассы и установлен факт слабой зависимости электрической проводимости от зенитного угла Солнца. Входными данными для этих решений были относительные изменения амплитуд и вариации фаз для трех радионавигационных частот из интервала 10 – 14 кГц.

По результатам наземного СДВ зондирования ионосферы вычислена динамика эффективной высоты h для 1-ого ионосферного сигнала для двух высыпаний СКЛ с началами 29 сентября 1989 г. и 19 октября 1989 г. Используя результаты этого анализа проведено сравнение свойств электрической проводимости нижней кромки ионосферы во время этих двух событий. В частности, было показано, что в спокойных условиях перед началами обоих событий эффективные высоты равнялись 64 и 63 км в дневных условиях и 78 и 70 км сразу после окончания переходного процесса день-ночь на радиотрассе соответственно. Существенное различие ночных значений мы связываем с активностью авроральных электронов с энергиями менее 300 кэВ.

На рис. 42 приведена динамика эффективной высоты h для высыпания авроральных электронов ночью 28 сентября 1989, перед началом высыпания протонов 29 сентября 1989 г. 12 UT. На рис. 43 приведена динамика эффективной высоты h для высыпания ультрарелятивистских электронов днем 22 октября 1989, перед повторным увеличением потока протонов 22 октября 1989, 19 UT.

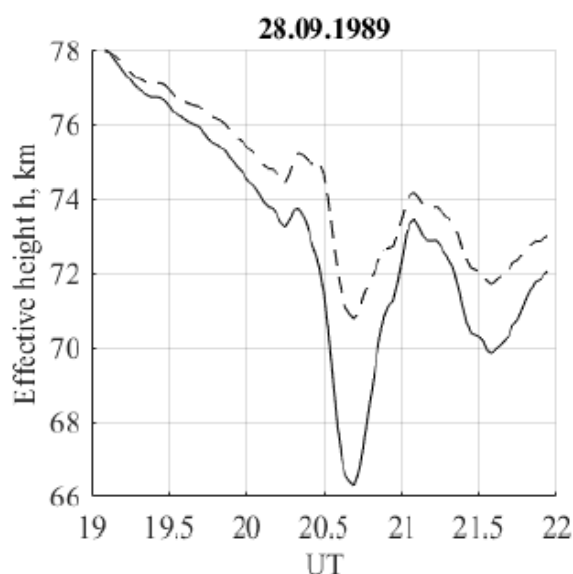


Рис. 42. Динамика эффективной высоты h для 28 сентября 1989. Сплошная кривая соответствует анализу в прямом направлении времени, пунктирная – в обратном.

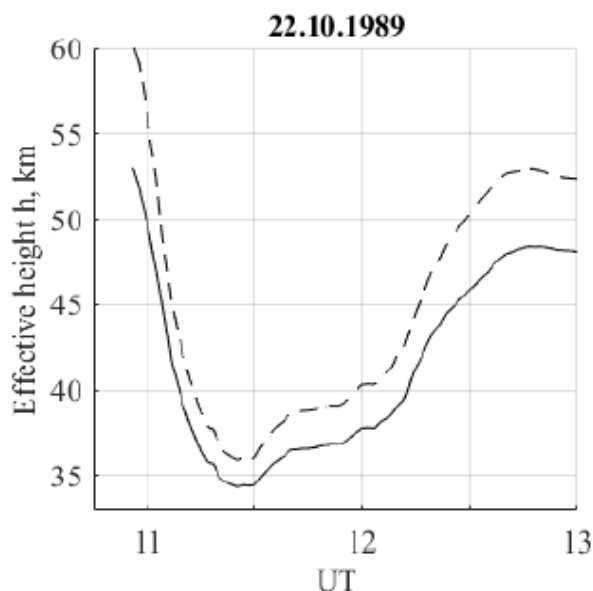


Рис. 43. Динамика эффективной высоты h для 22 октября 1989. Сплошная кривая соответствует анализу в прямом направлении времени, пунктирная — в обратном.

Отв. исполнитель: вед. электроник Шишаев В.А.

Подготовлена публикация в Геомагнетизм и Аэронавтика:

Суховой М.И., Шишаев В.А., Ременец Г.Ф. Сравнительный анализ недельных измерений электрической проводимости нижней кромки ионосферы в условиях протонных высыпаний, начавшихся 29 сентября и 19 октября 1989.

8. Совместно с ИПФ (Нижний Новгород) в г. Апатиты проводились измерения содержания озона в средней атмосфере в течение зимы 2019/2020 гг. Получены суточные временные изменения содержания O_3 .

При измерении содержания O_3 в средней атмосфере использовался метод микроволновой радиометрии. Оценка $[O_3]$ проводилась по частоте 110836.04 МГц. Озонометр располагался в здании АО Полярного геофизического института.

На рис. 44 приведены результаты измерений концентраций озона на высоте 60 км для периода 24-25.01.2019 и 31.01.2020. Как показали измерения, полученный суточный временной ход $[O_3]$ коррелирует со среднеширотными показателями динамики содержания озона в средней атмосфере [Rodrigo et al., 1986, Planet. Space Sci., v.34, p.723-743].

Отв. исполнители: н.с. Дёмин В.И., вед. электроник Шишаев В.А., зав. лаб. Кириллов А.С., инженер Лосев А.В.

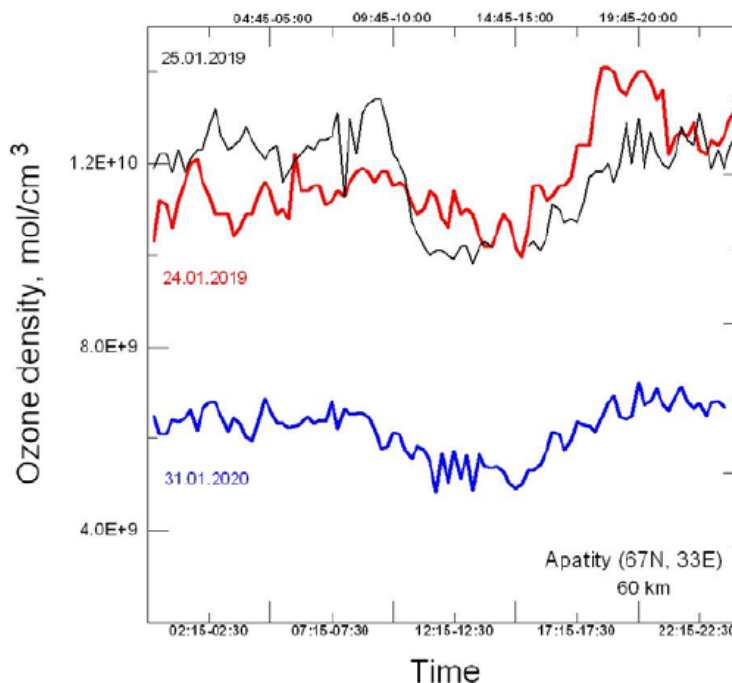


Рис. 44. Измеренные суточные вариации концентраций озона на высоте 60 км для периода зимнего солнцестояния 24-25.01.2019 и 31.01.2020.

Результаты измерений были представлены на конференции в Апатитах

Kulikov Y.Y., Andriyanov A.F., Demin V.I., Demkin V.M., Kirillov A.S., Ryskin V.G., Shishaev V.A.

Results of microwave monitoring of the middle atmosphere ozone in polar latitudes for two winter seasons 2017-2018 and 2018-2019. (Устный доклад) // Abstracts of the 43nd Annual Seminar

“Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.64.

9. С помощью озонметра «DASIBI 1008АН» в 2020 г. в г. Апатиты продолжались измерения приземной концентрация озона.

В 2020 г. продолжались измерения приземной концентрация озона (ПКО) в г. Апатиты (рис. 45).

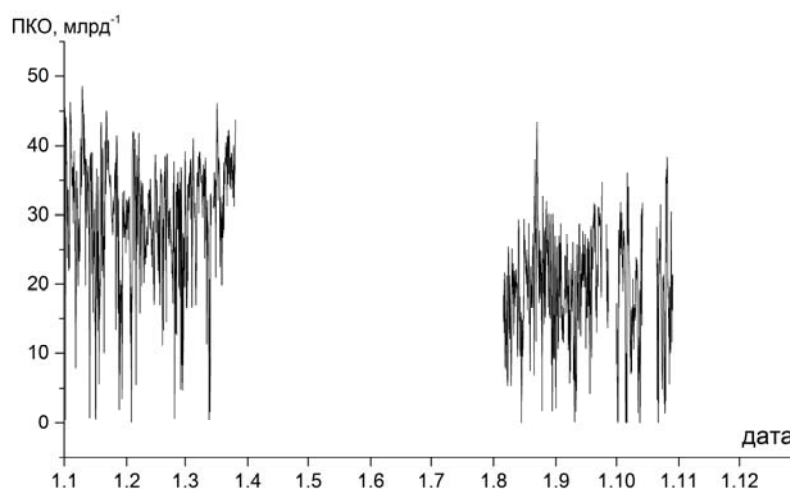


Рис. 45. Приземная концентрация озона в г. Апатиты.

Отв. исполнители: вед. электроник Шишаев В.А., н.с. Дёмин В.И.

10. В августе 2020 г. в г. Апатиты начаты регулярные непрерывные измерения вертикального распределения температуры воздуха в нижнем километре слое атмосферы. Измерения проводятся с помощью микроволнового температурного профилера (МТП-5РЕ).

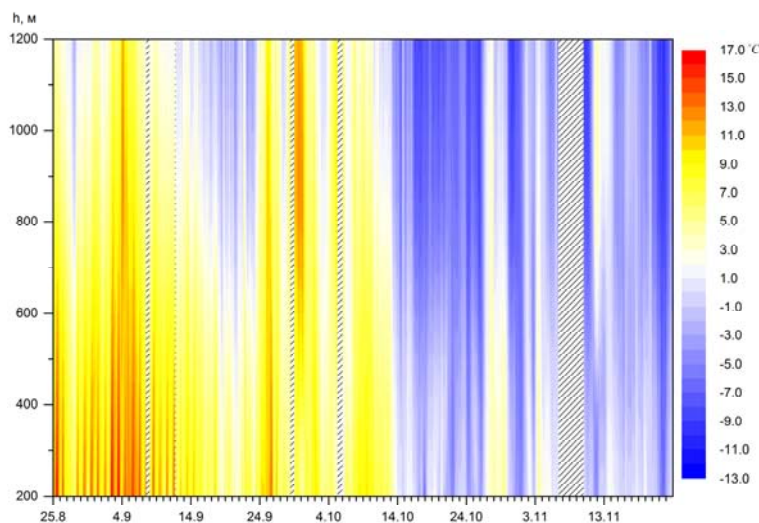


Рис. 46. Высотное распределение температуры воздуха в г. Апатиты в слое от поверхности Земли до 1 км (200 - 1200 м над уровнем моря.) с 25 августа по 22 ноября 2020 г. по данным температурного профилера МТП-5РЕ. Справа - температурная шкала.

Отв. исполнители: вед. электроник Шишаев В.А., н.с. Дёмин В.И., инженер Лосев А.В.

11. Обоснован и разработан метод расчета функции источника излучения в колебательных полосах CO_2 и O_3 с учетом нарушения ЛТР в средней и верхней атмосфере Земли.

Для реалистичности пространственных распределений температуры воздуха в атмосфере Земли, рассчитываемых по математическим моделям атмосферы, используемые в этих моделях уравнения теплового баланса должны адекватно описывать процессы нагрева-охлаждения атмосферного газа за счет поглощения-испускания электромагнитного излучения. В частности, необходимо адекватно описывать нагрев атмосферного газа солнечным излучением в диапазоне частот от 2000 до 50000 cm^{-1} .

Известно, что в атмосфере на высотах, превышающих некоторый уровень, время жизни молекул CO_2 и O_3 в возбужденном состоянии становится меньше, чем время свободного пробега между столкновениями. Это приводит к тому, что населенности колебательных состояний не описываются распределением Больцмана при температуре атмосферы, то есть нарушается колебательное локальное термодинамическое равновесие (ЛТР), и излучение атмосферного газа не описывается функцией Планка.

Исполнителями настоящей темы обоснован и разработан метод расчета функции источника излучения в колебательных полосах CO_2 и O_3 с учетом нарушения ЛТР в средней и верхней атмосфере Земли. Этот метод позволяет проводить расчеты поля излучения в атмосфере Земли с высоким разрешением по частоте (Line by Line) независимо для каждого узла сетки по частоте. Также этот метод позволяет строить параметризации оптических параметров атмосферы Земли, с помощью которых можно быстро и точно рассчитывать поля теплового и солнечного излучения в нижней, средней и верхней атмосфере Земли с учетом рассеяния. Разработанный метод был проверен в модельных расчетах и показал свою эффективность.

Исполнители: д.ф.-м.н. Мингалев И.В., к.ф.-м.н. Орлов К. Г., м.н.с. Федотова Е.А., д.ф.-м.н. Мингалев В.С.

Публикация:

Четверушкин Б.Н., Мингалев И.В., Чечеткин В.М., Орлов К. Г., Федотова Е.А., Мингалев В.С., Мингалев О.В. Модели общей циркуляции атмосферы Земли. Достижения и направления развития // Математическое моделирование, 2020, том 32, № 11, С. 29-46. DOI: 10.20948/mm-2020-11-03.

12. Исследованы суточные изменения зоны засветки КВ-передатчика, расположенного в г. Тверь, при его работе в направлении на север.

Исполнителями настоящей темы некоторое время назад была разработана математическая модель, позволяющая вычислять лучевые траектории коротких радиоволн и поглощение энергии этих волн на лучевых траекториях. В этой модели используется приближение геометрической оптики, то есть считается, что длина волны намного меньше характерного масштаба изменения параметров среды, и волна считается квазиплоской. В модели учитывается влияние земного магнитного поля на распространение радиоволны и отклоняющее поглощение за счет столкновений электронов. Модель позволяет рассчитывать траектории как обыкновенной, так и необыкновенной волн, а также поглощение энергии вдоль траекторий. Концентрация электронов и частота их столкновений с нейтралами рассчитываются с использованием эмпирических моделей ионосферы и нейтральной атмосферы.

В отчетном году при помощи численных расчетов по описанной модели исследованы суточные изменения зоны засветки КВ-передатчика, расположенного в г. Тверь, при его работе в направлении на север. Под зоной засветки передатчика подразумевается область на поверхности Земли, в которую попадают односкачковые лучевые траектории излучаемых передатчиком коротких радиоволн, имеющих различные направления, лежащие внутри диаграммы направленности антенны, при работе передатчика на различных частотах. Проведенные расчеты показали, что зона засветки передатчика может изменяться в течение суток. При этом возможность односкачковой КВ-радиосвязи между расположенным на средних широтах европейской части страны передатчиком и районом Баренцева моря имеет высокую вероятность. Можно отметить, что обеспечение надежной КВ-радиосвязи с морскими и воздушными судами, а также сухопутными объектами, находящимися в высоких широтах, имеет большое прикладное значение.

Исполнители: д.ф.-м.н. Мингалев И.В., д.ф.-м.н. Мингалев О.В., м.н.с. Суворова З.В., д.ф.-м.н. Мингалев В.С.

Возможность практического применения

Полученные в 2020 году результаты теоретических исследований по особенностям взаимодействия электронно-возбужденных молекул с различными газами, переноса энергии возбуждения между молекулами в атмосфере Земли и других планет при неупругих взаимодействиях могут быть использованы при исследованиях активных сред в лабораторных разрядах и лазерах. Установление масштаба микроклиматической изменчивости температуры искусственных поверхностей должно способствовать уточнению природы тепловых аномалий, обнаруживаемых по данным инфракрасных съемок с

космических аппаратов. Результаты разработки 2-х компонентного анализатора спектра поля атмосфериков могут найти практическое применение при создании аппаратуры по регистрации электромагнитных сигналов, распространяющихся в атмосфере Земли.

Заключение

Работы, запланированные на 2020 год выполнены в полном объеме. Кроме того, проведено усовершенствование некоторых имеющихся математических моделей, что создает задел на проведение дальнейших исследований. Полученные в 2020 году результаты опубликованы, направлены в печать и доложены на региональных, всероссийских и международных конференциях. Исследования в рамках темы должны быть продолжены в соответствии с планами фундаментальных научных исследований.

ТЕМА: Проведение стационарных наблюдений за магнитными и оптическими явлениями на архипелаге Шпицберген, исследование геофизических процессов в высокоширотной атмосфере Земли (0187-2019-0018)

В рамках настоящей темы работали сотрудники сектора оптических методов, сектора космических лучей, лаборатории радиопросвечивания, лаборатории атмосферы Арктики.

Обеспечение российского научного присутствия на архипелаге Шпицберген является одним из стратегических приоритетов в политике Российской Федерации в Арктике. Стационарные наблюдения проводятся согласно программе ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 гг. и по направлениям исследований:

- 12 – Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений;
- 14 – Современные проблемы ядерной физики, в том числе элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий, включая физику нейтрино и астрофизические и космологические аспекты;
- 16 – Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства.

Целью научно-исследовательской работы является высокоширотная ионосфера и атмосфера Арктической зоны (архипелаг Шпицберген). Непосредственно предметом изучения – геофизические процессы и явления, солнечно-земные связи, а также электромагнитные поля в широком частотном диапазоне.

Уникальное положение архипелага Шпицберген позволяет проводить на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург» непрерывные долговременные и регулярные стационарные наблюдения за магнитными и оптическими явлениями, происходящими в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной атмосферы, что являются основой для исследования развития сложных процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и проявлений факторов космической погоды.

Естественные резонансные структуры электромагнитного поля в диапазоне от 0,01 Гц до 10 Гц несут информацию о состоянии высокоширотной внешней ионосфере, играющую важную роль в распространении электромагнитных волн и их применении при решении прикладных задач.

Современное научное оборудование обсерватории ПГИ «Баренцбург» для регистрации высокоэнергичных частиц, входящее в состав уникальной научной установки Российской Федерации - Российская национальная наземная сеть нейтронных мониторов (Сеть СКЛ) позволяет проводить регулярные наблюдения космических лучей. Результаты этих наблюдений играют важную роль в фундаментальных исследованиях характеристик космических лучей и в практических задачах мониторинга и диагностики геофизической обстановки в области высоких широт.

Высокоширотная ионосфера в полярной шапке и в области, примыкающей к авроральному овалу, отличается большой изменчивостью и сложной динамикой, обусловленной солнечно-земными связями и магнитосферными процессами. Размещение обсерватории ПГИ «Баренцбург» на архипелаге Шпицберген и применение современной научной аппаратуры расширяет область ионосферных исследований до полярной шапки и позволяет более детально и комплексно исследовать параметры высокоширотной ионосферы в различных гелиогеофизических условиях.

Оборудование и научная аппаратура для регистрации электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона, размещенная в обсерватории ПГИ делает возможным исследование характеристик распространения электромагнитных волн этого диапазона как естественного, так и антропогенного происхождения в области высоких широт и в полярной шапке.

Таким образом, задачами стационарных наблюдений являются:

- Исследование развития процессов взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли в области дневного полярного каспа, полярной шапки и высокоширотной ионосферы на базе обсерватории ПГИ «Баренцбург»;
- Исследование естественных резонансных структур в диапазоне от 0,1 Гц до 10 Гц;
- Исследование характеристик космических лучей;
- Исследование параметров высокоширотной ионосферы;
- Исследование характеристик распространения электромагнитных волн экстремально низкочастотного диапазона в высоких широтах.

В 2020 году стационарные наблюдения в обсерватории ПГИ «Баренцбург» проводились в полном объеме. Техническое обслуживание, ввиду невозможности выезда летом, проведено в ограниченном виде силами находящегося там сотрудника ПГИ В. Кулешова с использованием телеконференций. Планируемое финансирование получено, поэтому плановые закупки комплектующих, материалов, носителей данных для обсерватории «Баренцбург» проведены.

Объем полученной за год информации составил 17 Тб.

Основные результаты и публикации, полученные в 2020 году:

Результаты наблюдений ОНЧ излучений, проведенных на границе полярной шапки во время экспедиции «Трансарктика 2019»

Опубликованы первые результаты наблюдений ОНЧ излучений, проведенных на границе полярной шапки во время экспедиции «Трансарктика 2019», организованной ААНИИ. В течение 13 из 26 дней наблюдений на судне «Академик Трёшников» регистрировались авроральные ОНЧ хиссы (рис. 47). Подробно рассмотрен наиболее яркий случай - авроральный хисс 11 апреля 2019 года. Для исследования особенностей его генерации и распространения проведено сравнение результатов регистрации аврорального хисса на корабле, в обс. Баренцбург, расположенной на границе полярной шапки на близкой к судну геомагнитной широте, и в обс. Ловозеро и обс. Каннуслахто, расположенных в авроральной зоне. Показано, что рассматриваемый авроральный хисс наблюдается в обеих точках, расположенных на границе полярной шапки, и не наблюдается в авроральной зоне. Полученные результаты свидетельствуют о том, что область выхода таких излучений локальна и ограничена по широте.

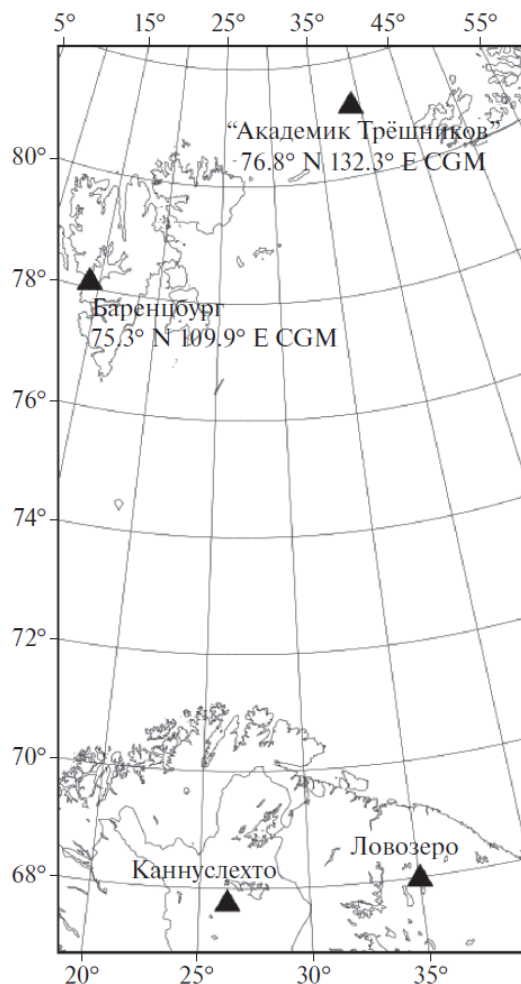


Рис. 47. Взаимное расположение станций Баренцбург, Ловозеро, Каннуслехто и судна «Академик Трёшников».

Пильгаев С.В., Федоренко Ю.В., Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Никитенко А.С., Ларченко А.В., Филатов М.В., Лебедь О.М., Фролов И.Е., Козелов Б.В. Первые результаты ОНЧ-наблюдений во время полярной экспедиции "Трансарктика 2019" // Геомагнетизм и аэрномия, 2020, том 60, № 2, с. 216–219. DOI: 10.31857/S0016794020020121

Особенности распространения СНЧ/ОНЧ волн вдоль трассы EISCAT/Heating - архипелаг Шпицберген в эксперименте по модулированному нагреву ионосферы

Эксперименты по модулированному нагреву высокоширотной ионосферы позволяют исследовать физические процессы, происходящие в ионосферной плазме, и эффекты распространения низкочастотных волн в волноводе Земля-ионосфера. В данных экспериментах мощная модулированная КВ радиоволна, излучаемая нагревным стендом, создает модуляцию электроджета и образует на высотах D-слоя ионосферы низкочастотный ионосферный источник, сигналы которого способны распространяться в волноводе Земля-ионосфера на сотни и тысячи километров.

Рассмотрены результаты регистрации сигналов ионосферного источника на арх. Шпицберген (станция Баренцбург) и сети материковых станций Кольского полуострова, полученные в ходе нагревного эксперимента 2016 г. на стенде EISCAT/Heating (Тромсе, Норвегия). Особое внимание уделено обнаруженному в эксперименте эффекту: наблюдаемая в самой удаленной от нагревного стенда точке регистрации (станция Баренцбург) амплитуда горизонтального магнитного поля на частотах модуляции близких к частоте первого поперечного резонанса Земля-ионосфера зачастую была выше, чем на самой ближней к

нагревному стенду материковой станции (Лотта). На других частотах такого эффекта не наблюдалось. Для объяснения наблюдаемого эффекта была разработана численная модель генерации и распространения СНЧ/ОНЧ волн. В модели использован новый подход к моделированию пространственно распределенного ионосферного источника СНЧ/ОНЧ волн. В результате сопоставления экспериментальных данных об амплитуде и поляризации поля ионосферного источника с результатами моделирования показано, что модель с использованием одинаковых параметров нижней стенки волновода вдоль трасс распространения сигнала от источника до станций не может объяснить наблюдаемый в эксперименте эффект. Экспериментальные данные объясняются только в модели с учетом высокой проводимости нижней стенки волновода вдоль трассы EISCAT/Heating — Баренцбург, т.е. морской поверхности и низкой проводимости вдоль трассы EISCAT/Heating — Лотта. При этом важную роль играет и состояние ионосферы.

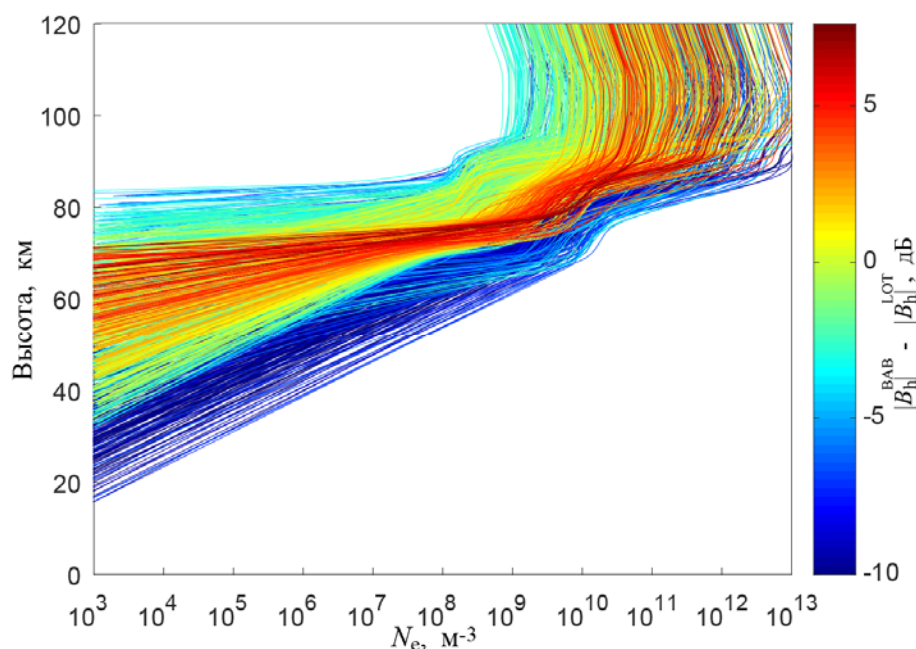


Рис. 48. Исследованные профили N_e . Цветом показан уровень отношения амплитуды горизонтального магнитного поля в Баренцбурге к амплитуде в Лотте в дБ.

Исследования массива сгенерированных случайным образом профилей электронной концентрации (N_e) показало, что наиболее важным для наблюдения эффекта, обнаруженного в эксперименте, является уровень N_e в диапазоне высот от 75 до 90 км. Здесь отношения амплитуд в Баренцбурге и Лотте изменяются с изменением N_e наиболее сильно (рис. 48). В частности, для наблюдения эффекта, значения N_e на высоте 82 км должны находиться в пределах $6,4 \cdot 10^8 \dots 1,5 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$.

Ларченко А.В., Пильгаев С.В., Лебедь О.М. и др. Особенности распространения СНЧ/ОНЧ волн вдоль трассы EISCAT/Heating - арх. Шпицберген в эксперименте по модулированному нагреву ионосферы // Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием «КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА», 2020. — С. 56.

Самый длинный ряд среднемесячной температуры воздуха в северной Арктике

На основе метеорологических измерений в поселке Баренцбург (Шпицберген) и данных ближайших к нему метеорологических станций и реанализа, создан композитный

ряд среднемесячной температуры воздуха в Баренцбурге, начинающийся с декабря 1911 г. Созданный композитный ряд является самым длинным и полным в северной Арктике и может быть использован для оценок долговременных изменений климата (рис. 49).

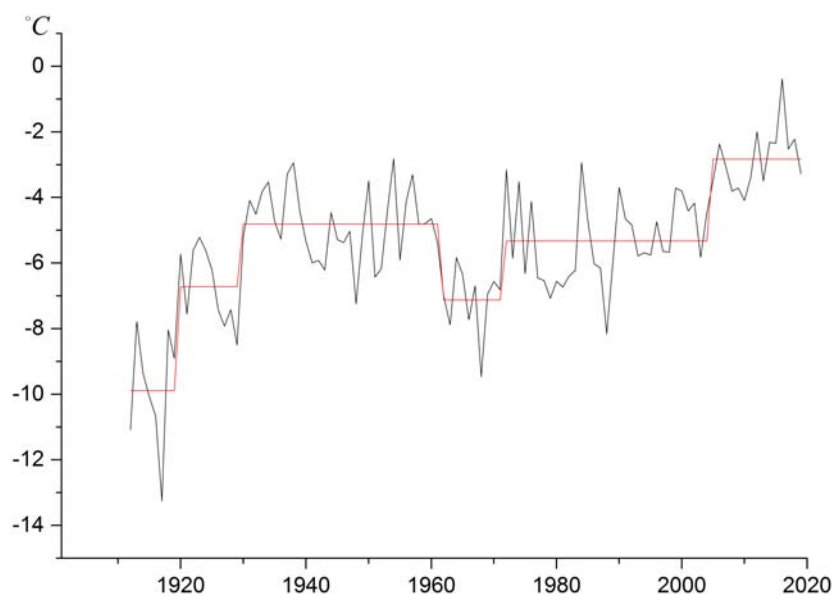


Рис. 49. Среднегодовая температура в Баренцбурге; смещение красной линии показывает годы со статистически значимым сдвигом в ряду среднегодовой температуры.

Исполнители: В.И. Дёмин, ФГБНУ «Полярный геофизический институт»

Работа выполнена совместно с Ивановым Б.В. (ААНИИ Росидромета, Санкт-Петербургский государственный Университет, Институт Физики Атмосферы РАН).

Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на Российской станции в поселке «Баренцбург» (Шпицберген) // Российская Арктика. 2020. №9. с. 30-40.

Демин В.И., Иванов Б.В. Восстановление длинных рядов температуры воздуха в Баренцбурге для оценки климатических изменений на архипелаге Шпицберген // Physics of Auroral Phenomena. Proceedings of the 43rd Annual Seminar (ISSN 2588-0039). P.162-166 DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43

Оценка положения и размера области рассеяния аврорального хисса

Выполнен анализ одновременных наблюдений аврорального хисса 3 февраля 2019 года в трех пространственно-разнесенных точках - обс. Баренцбург (архипелаг Шпицберген), Каннуслахто (Финляндия) и обс. Ловозеро (Россия). Обнаружены случаи, когда излучения регистрировались только в обс. Баренцбург и случаи, когда всплески аврорального хисса наблюдались на всех трех станциях одновременно. Проведена интерпретация полученных результатов с использованием разработанной нами модели распространения аврорального хисса от области генерации до земной поверхности. Показано, что всплеск аврорального хисса, наблюдаемый только в обс. Баренцбург в 18:50 - 19:17 UT, по-видимому, обусловлен существованием рассеивающей области относительно небольших размеров к юго-западу от точки наблюдений. Появление всплесков аврорального хисса одновременно на всех трех точках в 19:25 UT, может быть результатом одновременного существования двух рассеивающих областей мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации, расположенных на разных широтах.

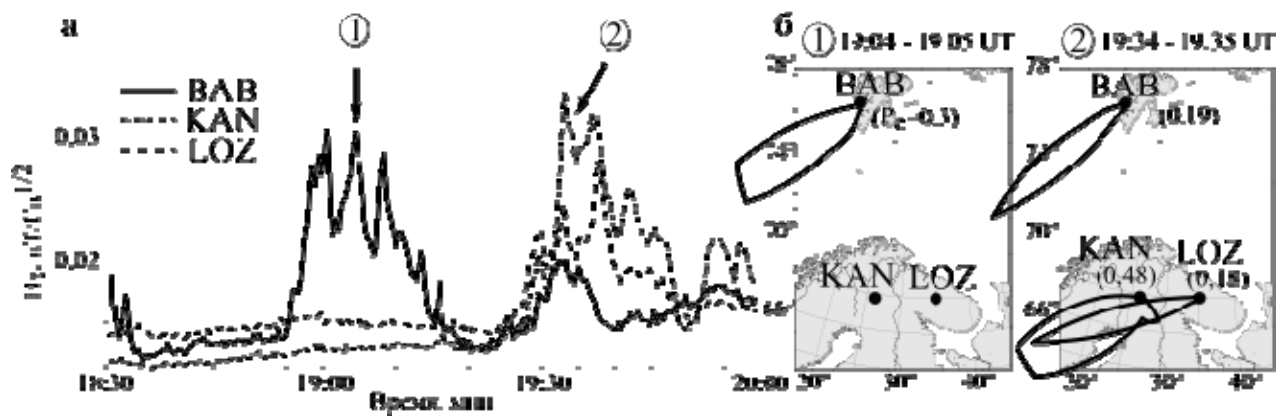


Рис. 50. а) Огибающие горизонтальной компоненты магнитного поля H_T , построенные по данным наблюдений в обс. Баренцбург (сплошная линия), обс. Ловозеро (штриховая линия) и Каннуслахто (штрих-пунктирная линия); б) распределения плотности потока энергии по азимутальным углам прихода $p(\varphi)$ вместе с усредненными индексами круговой поляризации P_c , рассчитанные для интервалов 1) 19:04 - 19:05 UT и 2) 19:34 - 19:35 UT (в).

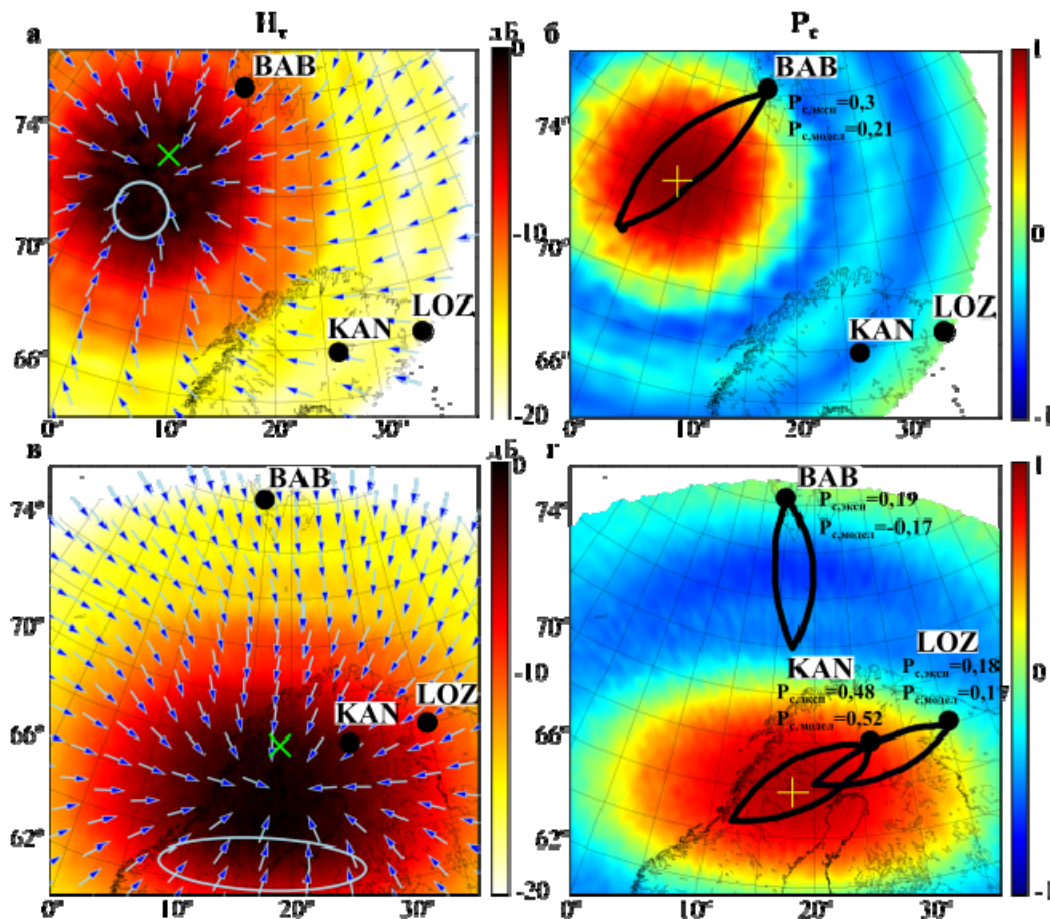


Рис. 51. Модельные распределения на земной поверхности горизонтальной компоненты магнитного поля H_T и индекса круговой поляризации магнитного поля P_c вместе с распределениями $p(\varphi)$ (рисунки справа), полученные для интервала 1 (а, б) и интервала 2 (в, г). Знак «+» показывает центр засвечиваемого на земной поверхности пятна, знаком «x» обозначена широта, на которой происходит генерация электростатических волн, штриховой линией показана проекция области рассеяния на земную поверхность; стрелками обозначено направление, обратное направлению усредненного вектора Пойнтинга.

Никитенко А.С., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Маннинен Ю., Клейменова Н.Г., Громова Л.И. ОЦЕНКА ПОЛОЖЕНИЯ И РАЗМЕРА ОБЛАСТИ РАССЕЯНИЯ АВРОРАЛЬНОГО ХИССА ПО ДАННЫМ ВЫСОКОШИРОТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННЫХ ТОЧКАХ // Известия РАН. Серия физическая. 2021. Т.3.

Резонансные эффекты в СНЧ/ОНЧ излучениях типа авроральный хисс по данным наземных наблюдений в обсерватории Баренцбург

Представлены результаты наземных наблюдений СНЧ/ОНЧ излучений типа авроральный хисс в обс. Баренцбург (архипелаг Шпицберген). Показано, что в некоторых случаях в спектре регистрируемых излучений наблюдаются пики на частотах, кратных частоте поперечного резонанса волновода Земля — ионосфера. Проведено сравнение полученных результатов с результатами наблюдений всплесков аврорального хисса на станциях обс. Ловозеро (Мурманская область) и Каннуслахто (Финляндия), расположенных на более низких широтах. Показано, что подобный эффект на этих станциях не наблюдается. Для объяснения полученных результатов проведено моделирование распространения аврорального хисса от области генерации до наземного наблюдателя и выявлено возможное состояние ионосферы, которое может приводить к наблюдаемым спектрам.

Никитенко А.С., Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Филатов М.В., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В. Резонансные эффекты в СНЧ/ОНЧ излучениях типа авроральный хисс по данным наземных наблюдений в обсерватории Баренцбург // Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием «КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА», 2020. — С. 77.

Фёновые эффекты в Баренцбурге (Шпицберген)

Обнаружены вариации температуры и относительной влажности воздуха, указывающие на существовании в районе Баренцбурга фёновых течений. Температурный эффект фёнов не превышает 1-3°C или даже не выражен, а относительная влажность может опускаться до 60 и менее %.

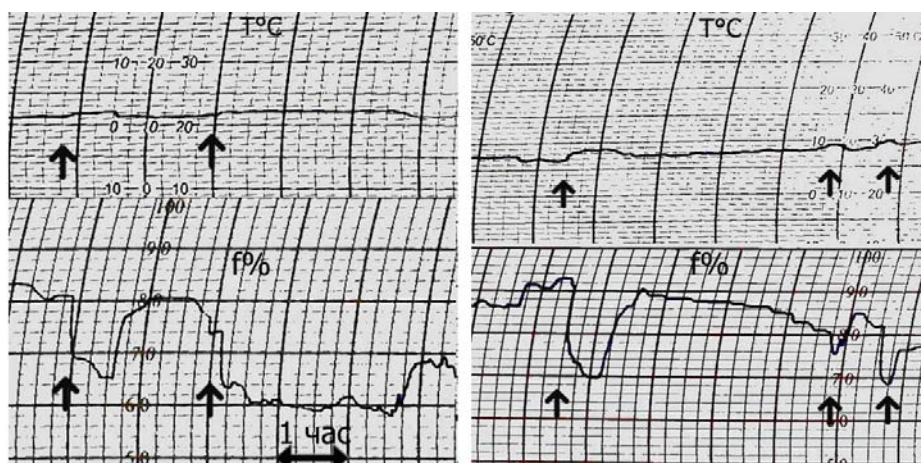


Рис. 52. Вариации температуры воздуха (вверху – $T^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности (внизу – $f\%$) в Баренцбурге в ночь с 28 на 29 мая 2018 г. (слева) и 31 июля 2018 г. (справа). Стрелками отмечено появление фёна.

При изучении метеорологического режима в районе Баренцбурга обнаружены синхронные, но противофазные изменения температуры и влажности воздуха (рис. 52),

наблюдаемые при ветрах с восточной составляющей. Так как с данных направлений Баренцбург прикрыт небольшими горами (с высотами от 200 до 500 метров), вариации могут указывать на существование в данном районе фёновых течений, возникающих из-за перетекания и последующего опускания воздуха. Температурный эффект не превышает 1-3°C или даже отсутствует, а относительная влажность может опускаться до 60 и менее %, что является признаком фёна в даже крупных горных системах. «Импульсный» и кратковременный характер явления позволяет предполагать его возникновение в результате быстрого и внезапного разрушения некоторого установившегося течения в пограничном слое атмосферы.

Демин В.И., Козелов Б.В. Фёновые эффекты в Баренцбурге (Шпицберген) // Proceedings of the 43rd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.167-171. doi: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.167-171.

Научная новизна

Все полученные результаты соответствуют мировым стандартам, отвечающим современному уровню геофизических исследований. При выполнении работы использованы оригинальные данные, полученные в ходе измерений с применением научной аппаратуры мирового уровня, установленной в обсерватории ПГИ «Баренцбург» на архипелаге Шпицберген.

Возможность практического применения

Полученные в ходе выполнения темы результаты, могут найти практическое применение в разработке аппаратуры радиосвязи, радионавигации и радиолокации, а также при дистанционном зондирования ионосферы и литосферы Земли и заметно повысить их достоверность и экономическую эффективность.

Накопленные экспериментальные данные и теоретические интерпретации в дальнейшем будут использоваться при проведении фундаментальных научных исследований гелиогеофизических процессов в Арктической зоне, а также при планировании и проведении будущих экспериментов.

3. Результаты завершённых проектов

Результаты проекта «Комплексный анализ авроральных и субавроральных явлений по данным спутника ERG и российским и японским наземным наблюдениям на северо-западе России и в Скандинавии», поддержанного грантом РФФИ 19-52-50025 ЯФ_а.

Плазменные процессы, происходящие в околоземном космическом пространстве, приводят к генерации различных типов электромагнитных волн и возмущениям в динамике заряженных частиц, образующих космическую плазму. В результате этих процессов заряженные частицы (электроны и ионы) вдоль силовых линий магнитного поля могут проникать в атмосферу Земли (высыпание заряженных частиц). В свою очередь, высыпания заряженных частиц вызывают свечение атмосферных атомов и молекул (полярные сияния). Внимание к изучению полярных сияний в большой степени обусловлено именно тем, что они отражают процессы в магнитосфере, и их изучение может помочь выяснить природу магнитосферных возмущений и плазменных неустойчивостей. Разумеется, необходимы комплексные исследования, включающие измерения полей и частиц непосредственно в космической плазме и многоточечные и мульти-инструментальные наблюдения физических явлений на земной поверхности.

Проект представляет собой попытку такого исследования, предпринятую российскими и японскими учеными. В декабре 2016 г. был запущен японский спутник Arase (ERG), оснащенный самой современной аппаратурой для измерений волн и плазмы. Японские ученые организовали наземную поддержку этому проекту – сеть обсерваторий вдоль авроральной зоны (зоны полярных сияний), оснащенную современной аппаратурой для геофизических наблюдений. Такая аппаратура была размещена, в частности, и в северной Европе, в Скандинавии. Она включает в себя различные камеры всего неба для изучения полярных сияний, в том числе с высоким временным разрешением (100 изображений в секунду). В Скандинавии геофизические наблюдения ведутся и другими странами — Швецией, Норвегией, Финляндией, что существенно расширяет возможности наземной поддержки проекта ERG.

Полярный геофизический институт (ПГИ) также проводит широкий комплекс наблюдений полярных сияний и других геофизических явлений на Кольском полуострове и на Шпицбергене. Некоторые средства наблюдений (такие как система ТВ камер MAIN с разными углами обзора) уникальны и не имеют аналогов. Наблюдения на Кольском полуострове расширяют к востоку область наблюдения сети скандинавских станций, что дает больше возможностей как для сопоставления наземных и спутниковых наблюдений, так и для координированных наземных экспериментов. По этим причинам, сотрудничество российских и японских ученых оказалось весьма актуальным и обоюдовыгодным. Его удалось реализовать в проекте «Комплексный анализ авроральных и субавроральных явлений по данным спутника ERG и российским и японским наземным наблюдениям на северо-западе России и в Скандинавии», поддержанном грантом РФФИ 19-52-50025 ЯФ_а.

В течение двух лет проекта проведены различные исследования, включающие, например, триангуляционные измерения (определения высоты) на японских камерах всего неба, установленных в Европе, и с помощью камер системы MAIN. Высота сияния зависит от энергии высыпающихся электронов. Было показано, что появление ярких пятен на дугах сияний не связано с ускорением электронов и вызвано, скорее всего, взаимодействием электронов с волнами. По данным камер с высоким временным разрешением и данным

индукционного магнитометра была рассмотрена взаимосвязь пульсаций в дугах сияний с частотой 2-3 Гц и пульсаций в геомагнитном поле. Оказалось, что преобладают пульсации в компоненте магнитного поля, перпендикулярной к дуге сияния. Сделан вывод, что за эти пульсации ответственны токи, текущие вдоль дуги и модулированные потоком высыпавшихся электронов.

По данным нескольких камер всего неба (в том числе, ТВ камеры ПГИ в обсерватории Ловозеро) обнаружено новое явление: кратковременная вспышка красной дуги сияния (на длине волны 630.0 нм) на высокой геомагнитной широте (68°). Эта вспышка оказалась связана с развитием небольшого возмущения в магнитосфере. Сопоставление с данными низкоорбитальных спутников позволило сделать вывод, что механизм этой красной дуги сходен с механизмом давно изучаемого явления - стабильных красных дуг, которые обычно наблюдаются на средних широтах.

По данным измерений потоков электронов на спутнике ERG с помощью модели генерации авроральных эмиссий, разработанной в ПГИ, были рассчитаны интенсивности сияний, вызываемых высыпаниями этих электронов. Было показано, что интенсивность излучения должна иметь пульсирующий характер, что, в целом, согласуется с характером сияний, которые в это время наблюдались на станции ПГИ Апатиты. Сделан вывод, что сравнение рассчитанных вариаций интенсивности свечения в точке, куда должен проецироваться спутник по модели магнитного поля Земли с наблюдаемыми пульсациями сияний может быть использовано для корректного проецирования положения спутника на малые высоты.

Участникам проекта удалось найти событие, когда спутник Arase/ERG был магнитно-сопряжен с Кольским полуостровом и Скандинавией в вечернем секторе, а спутники Van Allen Probes A и B располагались в ночном секторе. В это время произошло магнитосферное возмущение (суббура). Все спутники последовательно зарегистрировали инжекции энергичных протонов, причем инжекции совпадали с генерацией или резким усилением электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн с частотами 0.1-0.4 Гц. Волны в том же диапазоне частот были зарегистрированы и в обсерватории ПГИ Ловозеро. В этом уникальном событии впервые удалось зарегистрировать ЭМИЦ волны внутри области развития суббури и получить важную информацию об условиях генерации этих волн в магнитосфере. Кроме того, был определен режим взаимодействия волн и энергичных протонов, который приводит к высыпаниям протонов в ионосферу. Оцененные параметры высыпаний сопоставлены с одновременными наблюдениями на низкоорбитальных спутниках, и показано хорошее соответствие наблюдений и расчетов.

В исследованиях электромагнитных волн в частотном диапазоне 102-104 Гц (диапазон ОНЧ/КНЧ) важно определить область выхода естественных излучений из космоса к земной поверхности. В ПГИ разработан оригинальный метод локализации таких областей по наземным измерениям. Метод был апробирован в рамках проекта по данным обсерватории Ловозеро и финской станции Каннуслахто. Были определены не только положение, но и размеры областей выхода низкочастотных сигналов. Кроме того, метод был использован для оценки положения области выхода квазипериодических излучений, зарегистрированных в обсерватории Ловозеро года во время запуска ракеты RockSat-XN в Andøya Space Center (в северной Норвегии) и измерений энергичных электронов японской аппаратурой на этой ракете. Совместно с результатами одновременных наблюдений заряженных частиц на спутнике Arase/ERG это позволило показать, что регистрируемые во время запуска высыпания электронов являются результатом взаимодействия между волнами,

распространяющимися к Земле и субрелятивистскими электронами с энергиями от 80 до 600 кэВ.

По данным спутников Arase/ERG и Van Allen Probes совместно с данными наблюдений на наземных станциях Каннуслахто (Финляндия) и Ловозеро (Россия) изучены события квазипериодических ОНЧ излучений. Для этих событий так же была использована методика определения направления на область выхода ОНЧ волн в волновод Земля — ионосфера. Одновременные наблюдения квазипериодических ОНЧ излучений на нескольких спутниках позволили оценить размер области в магнитосфере, которую эти сигналы могут занимать в процессе распространения. Эта область оказалась весьма большой — более 20 градусов по геомагнитной широте и более 100 градусов по долготе. При этом условия генерации волн в наблюдаемом частотном диапазоне выполнялись лишь в относительно узкой области размером не более 0,5 земного радиуса по обеим координатам в экваториальной плоскости (1,5 градуса по широте и 5 градусов по долготе).

За два года выполнения проекта установлены рабочие контакты российских и японских ученых, опубликовано и сдано в печать несколько совместных статей. Сделано несколько совместных докладов на конференциях. Стороны обменялись рабочими визитами (до пандемии). Российские ученые участвовали в онлайн совещании, организованном японскими коллегами. В свою очередь японские ученые участвовали в семинаре «Физика авроральных явлений» в марте 2020 г. и будут участвовать в аналогичном семинаре, который пройдет онлайн в марте 2021 г. Нет сомнений в том, что, хотя проект и закончен, контакты и совместные исследования будут продолжаться.

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

1. Общая информация

Международное научно-техническое сотрудничество федерального государственного бюджетного научного учреждения «Полярный геофизический институт» (ПГИ) в 2020 г. осуществлялось по следующим традиционным направлениям:

- участие в международных программах и экспериментах,
- работа сотрудников института в зарубежных научных организациях,
- подготовка совместных публикаций,
- участие в международных конференциях, семинарах, официальных встречах.

Совместная работа с зарубежными научными организациями проводилась по основным научным направлениям института в области исследования космических лучей, изучения физических процессов в магнитосфере и высокоширотной ионосфере Земли, состава и динамики атмосферы высоких широт, изучения солнечно-земных связей.

Необходимо отметить, что в связи с пандемией, большая часть запланированной международной деятельности либо была перенесена на последующие годы, либо отменена.

2. Взаимодействие с международными организациями и государственными органами иностранных государств в научной сфере

Сотрудничество ученых ПГИ с учеными зарубежных научных организаций и университетов Норвегии, Финляндии, Чехии, Болгарии, Китая, Японии, Швеции, Польши и Германии происходит в рамках двусторонних и многосторонних Соглашений:

- Соглашение о сотрудничестве между геофизической обсерваторией университета Оулу (Соданкюля, Финляндия) и Полярным геофизическим институтом;
- Соглашение о сотрудничестве между Институтом физики атмосферы АН ЧР (Прага, Чешская Республика) и Полярным геофизическим институтом;
- Соглашение об академическом обмене между Институтом космических исследований Земли (Нагоя, Япония) и Полярным геофизическим институтом;
- Соглашение о научном сотрудничестве между Университетом Тромсе – Арктическим университетом Норвегии (Тромсе, Норвегия) и Полярным геофизическим институтом;
- Соглашение о сотрудничестве между Геофизической обсерваторией университета Тромсе – Арктического университета Норвегии и Полярным геофизическим институтом;
- Соглашение о сотрудничестве между Университетом Осло (Норвегия) и Полярным геофизическим институтом в сфере исследований и обучения в рамках проекта ASTRA;
- Соглашение о научном сотрудничестве между Китайским институтом распространения радиоволн (Циндао, Китай) и Полярным геофизическим институтом;
- Соглашение о сотрудничестве между Национальным Космическим Научным Центром Китайской Академии Наук и Полярным геофизическим институтом в рамках международной программы меридианного круга;

- Межакадемическое соглашение о сотрудничестве между Институтом космических и солнечно-земных исследований БАН, Стара Загора и Полярным геофизическим институтом в области фундаментальных космических исследований
- Соглашение о сотрудничестве по укреплению сотрудничества в области технического обслуживания Международного Монитора Авроральных Геомагнитных Эффектов (IMAGE).

3. Деятельность института в международных организациях

В 2020 году ПГИ продолжил активное участие в работе научных организаций, комитетов и ассоциаций. Ниже приведены примеры взаимодействия сотрудников института с иностранными коллегами из зарубежных университетов и научных организаций в рамках деятельности международных коллабораций.

С 1978 года и по настоящее время ученые ПГИ совместно с зарубежными представителями Европейской Ассоциации некогерентного рассеяния **EISCAT** осуществляют исследования в области ионосферы в высоких широтах.

С 1994 года институт принимает участие в международном мониторинге авроральных геомагнитных эффектов (**IMAGE**). Целью данного сотрудничества является создание и организация базы магнитометрических данных в Северной Европе. Мониторинг осуществляется на основе регулярных измерений вариаций геомагнитного поля в различных точках Скандинавии и Севера России.

С 2018 года ПГИ является участником международной программы меридианного круга (**IMCR**). Целью программы является использование в полной мере наземной аппаратуры для совместного изучения космической погоды вдоль меридианного круга 120°E/60°W, проходящего через различные страны и регионы, включая Китай, Россию, Канаду, США, Южную Америку, Антарктиду и Австралию и т. д. В 2020 году сотрудники ПГИ приняли участие в совместных наземных наблюдениях с полным использованием аппаратуры для изучения геокосмической системы как интегрированной системы в глобальном контексте.

В 2020 году трое сотрудников ПГИ приняли непосредственное участие в двух международных рабочих встречах (в Финляндии и Швеции), на которых они представляли и обсуждали с коллегами результаты своих исследований.

4. Взаимодействие с зарубежными научно-образовательными организациями/зарубежными странами в рамках проектной деятельности

Сотрудничество ученых ПГИ с зарубежными учеными происходит в рамках двусторонних Соглашений или в рамках действующих проектов и программ. Ниже кратко перечислены проекты, которые были реализованы в 2020 году.

1. Название проекта: ASTRA – «The Arctic Space Training»

Цель проекта: научно-исследовательская подготовка аспирантов и студентов России и Норвегии в области космической науки в Арктике.

Сроки выполнения проекта 2018-2021 гг.

Участники: ПГИ и Университет Осло (Осло), Арктический университет Норвегии - Университет Тромсе (Тромсе), Университетский Центр на Свальбарде UNIS (Лонгйир),

Институт космических исследований РАН (Москва), Высшая Школа Экономики (Москва), Институт физики Земли РАН (Москва).

В феврале 2020 года было запланировано проведение международной зимней школы на базе Арктического университета Норвегии - Университета Тромсе в рамках проекта ASTRA, в работе которой планировалось участие сотрудников ПГИ. Была проведена подготовительная работа, но в связи с объявленным карантином в Норвегии, мероприятие было отменено

2. Название проекта: IMAGE, создание базы магнитных данных.

Цель проекта: обработка магнитометрических данных обсерватории Ловозеро.

Сроки выполнения проекта: бессрочный.

Участники: ПГИ (Россия) и Финский Метеорологический Институт (Финляндия).

3. Название проекта: Ground-based observations of unusual VLF emissions at the auroral latitudes.

Цель проекта: провести наземные наблюдения и исследовать происхождение и временное поведение необычных ОНЧ сигналов естественной природы в авроральных широтах.

Сроки выполнения проекта: 2019-2020.

Участники: ПГИ (Россия) и Финский Метеорологический Институт (Финляндия).

4. Название проекта: «Комплексный анализ авроральных и субавроральных явлений по данным спутника ERG и российским и японским наземным наблюдениям на северо-западе России и в Скандинавии» (2019-2020)

Цель проекта: Комплексный анализ авроральных и субавроральных явлений по спутниковым данным и российским и японским наземным наблюдениям на северо-западе России и в Скандинавии

Сроки выполнения проекта: 2019-2020.

Участники: ПГИ (Россия) и Институт космических исследований Земли Нагойского университета.

5. Название проекта: ARINKA II - Arctic Railway Infrastructure in Kolarctic.

Сроки выполнения проекта: 2018-2020.

Также в 2020 году были подготовлены две проектные заявки в международные фонды:

Проект «Исследование распространения геомагнитных возмущений в средние широты и выявление их межпланетных драйверов для разработки методов прогноза среднеширотной космической погоды». Руководитель: с российской стороны – Дэспирак И.В., со стороны Болгарии – Гинева Венета. Проект поддержан РФФИ в 2020 году.

Проект «Aurora Borealis», одобренный руководящим комитетом программы «Коларктик 2014-2020». Руководитель со стороны ПГИ Е.И. Скиотис, сроки выполнения проекта 2020 год.

НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

1. Общие сведения

В 2020 году исследования в ПГИ проводились в традиционных для института направлениях, включенных в Программу фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы. Они охватывают современные проблемы радиофизики и акустики, физики плазмы и элементарных частиц, исследования космического пространства и солнечно-земных связей. Получены новые важные результаты в области исследования искусственных и естественных электромагнитных и электростатических эмиссий в высокоширотной магнитосферно-ионосферной системе, космических лучей и связанных с ними радиационных эффектов, механизмов взаимодействия волна-частица в околоземной космической плазме, фотохимических процессов в ионосфере, а также в области математического моделирования динамических процессов в атмосфере Земли. Кроме того, часть работ в 2020 году выполнялась в продолжение уже начатых в прошлые годы проектов российских и международных фондов:

1. РФФИ № 19-52-50025(ЯФ_а 2019): «Комплексный анализ авроральных и субавроральных явлений по данным спутника ERG и российским и японским наземным наблюдениям на северо-западе России и в Скандинавии» (2019-2021). Руководитель проекта: к.ф.-м.н. Яхнин А.Г.
2. российско-норвежский грант INTPART (International Partnerships for Excellent Education and Research) № ES647692, название проекта: «*Magnetic pulsations and transients: the Sun-Earth connection and impact on the high latitude ionosphere*». (Участник проекта от ПГИ: Белаховский В.Б.)
3. проект «KO2011 ARINKA II - Arctic Railway Infrastructure in Kolarctic» программы Коларктик 2014-2020 гг. (Участники от ПГИ: Сахаров Я.А., Билин В.А. - эксперты проекта.)
4. российско-норвежский проект: «*Northern Lights in Mythology, Superstition Practical - (hunting & fishing) use, and mainly as a Source of Inspiration for Artists*». (Участники от ПГИ: Корнилова Т.А., Ягодкина О.И., Сахаров Я.А.)
5. РФФИ № 19-05-00823 (А 2019): «Особенности поляризационных характеристик КНЧ сигналов, возбуждаемых на низкопроводящей Земле» (2019-2021). Руководитель проекта: д.ф.-м.н. Терещенко Е.Д.
6. РФФИ № 18-32-00626 (мол_а): «Модельные исследования взаимодействия космических лучей с атмосферой Земли и верификация полученных результатов экспериментальными методами» (2018-2019). Руководитель проекта: Маурчев Е.А.
7. РФФИ № 18-77-10018: «Потоки высокоэнергетичных заряженных частиц в околоземном космическом пространстве, и их воздействие на атмосферу Арктики» (2018-2020). Руководитель проекта: к.ф.-м.н. Белаховский В.Б.

2. Деятельность Ученого совета

В состав Ученого совета Института был утвержден на собрании научных работников Института 30 марта 2017 года. В составе совета 14 человек.

В 2020 году на заседаниях Ученого совета рассматривались наиболее важные вопросы, связанные с научной и научно-организационной деятельностью института: обсуждение и утверждение планов и отчетов по научно-исследовательским работам (НИР), организация

конференций, издательская деятельность института, утверждение руководителей, тем и планов работ аспирантов, и другое. Всего проведено 4 заседания Ученого совета.

3. Деятельность аспирантуры

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Полярный геофизический институт» (ПГИ) в соответствии с лицензией №2330, выданной Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки 12.08.2016 г., приложением к лицензии №0034628, выданным 12.08.2016 г., осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования - программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям:

05.06.01 "Науки о земле": 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы (формы и сроки обучения: очная - 3 года; заочная - 4 года).

16.06.01 "Физико-технические науки и технологии": 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы; 01.04.03 – Радиофизика (формы и сроки обучения: очная - 4 года; заочная - 5 лет).

В настоящее время в Институте обучаются 1 очный и 1 заочный аспиранты.

Для иногородних поступающих в г. Апатиты имеется благоустроенное общежитие "Дом молодых специалистов с кафе", расположенное по адресу: ул. Ферсмана, д. 2.

Подробная информация о поступлении в аспирантуру ПГИ представлена на сайте: <http://pgi.ru/aspirantura/>.

Научные кадры

По данным на 1 декабря 2020г., в институте работают 25 кандидатов наук и 10 докторов наук. Численность научных сотрудников без ученой степени составляет 19 человек. Число молодых специалистов (моложе 39 лет) всего составляет 34 человек, в том числе научных сотрудников 14 человек.

В аспирантуре ПГИ на конец 2020г. обучается 1 аспирант очной и 1 аспирант заочной формы обучения. В 2020 году поступивших в аспирантуру на очную форму обучения не было.

Ученое звание профессора имеет 2 сотрудника. Ученое звание старшего научного сотрудника имеют 7 сотрудников, ученое звание доцента имеют 4 сотрудника. 5 сотрудников института являются экспертами РАН.

Сотрудники ПГИ состоят в следующих организациях:

Белаховский В.Б. член Американского геофизического союза (AGU), член Американского геофизического союза (EGU), эксперт РНФ.

Воробьев В.Г. член редколлегии журнала «Геомагнетизм и аэрономия»

Демехов А. Г. является экспертом РАН в соответствии с распоряжением Президиума РАН от 27.07.2016 № 10108-509; член Американского геофизического союза (AGU), член Международного союза по наукам о радио (URSI) — член Российского национального комитета (РНК) URSI, председатель комиссии Н (Waves in Plasmas) РНК, член COSPAR — член Российского национального комитета COSPAR, сопредседатель от IAGA совместной рабочей группы IAGA-URSI по зондированию ионосферы и магнитосферы с помощью КНЧ-ОНЧ волн (VERSIM).

Иванов В.Е. член государственной аттестационной комиссии филиала МАГУ в г. Апатиты.

Кириллов А.С. председатель государственной аттестационной комиссии филиала МАГУ в г. Апатиты; является экспертом РАН в соответствии с распоряжением Президиума РАН от 27.07.2016 № 10108-509; член Американского геофизического союза (AGU)

Козелов Б. В. является экспертом РАН в соответствии с распоряжением Президиума РАН от 27.07.2016 № 10108-509; член редколлегии журнала «Космические исследования».

Сафаргалеев В.В. председатель государственной аттестационной комиссии филиала МАГУ в г. Апатиты; член редколлегии журнала «Солнечно-Земная физика», эксперт РНФ.

Шипилов Э. В. член редколлегии журнала РАН "Геотектоника"; зарегистрирован в федеральном реестре экспертов научно-технической сферы. Свидетельство № 06-01840 Минобрнауки РФ ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ от 18 июля 2012 г., обновлено от 31 июля 2015 г и действительно до 31.07.2018 г.; член Научного совета по проблемам тектоники и геодинамики ОНЗ РАН; является экспертом РАН в соответствии с распоряжением Президиума РАН от 27.07.2016 № 10108-509.

Шумилов О.И. член государственной аттестационной комиссии филиала МАГУ в г. Апатиты

Яхнин А. Г. является экспертом РАН в соответствии с распоряжением Президиума РАН от 27.07.2016 № 10108-509.

4. Издательская деятельность

С 1994 года Институт регулярно издает сборник научных трудов ежегодного Апатитского семинара «Физика авроральных явлений» (главный редактор – к.ф.-м.н. Любич А.А., изд-во ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН; ISSN 2588-0039). Издание входит в систему научного цитирования РИНЦ.

Каждый выпуск состоит из 7 разделов, охватывающих широкий спектр исследований:

1. Geomagnetic storms and substorms
2. Fields, currents, particles in the magnetosphere
3. Waves, wave-particle interaction
4. The sun, solar wind, cosmic rays
5. Ionosphere and upper atmosphere
6. Low atmosphere, ozone
7. Heliobiosphere.

В 2020 году силами сотрудников ПГИ были подготовлены следующие издания:

1. «Физика авроральных явлений», сборник трудов 43-го ежегодного семинара, 10-13.03.2020, Апатиты. Изд. КНЦ РАН. ISSN 2588-0039, С. 180. (43 статьи)
2. «Физика авроральных явлений», 43-й ежегодный Апатитский семинар, 10-13.03.2020. Тезисы докладов", Препринт ПГИ-20-01-140, Изд-во КНЦ РАН, Апатиты, 2020, 77 с.
3. «Известия Российской академии наук. Серия физическая», тематический выпуск «Физика авроральных явлений», труды 43-го ежегодного семинара 10-13.03.2020, Апатиты. Издательство «Наука», Москва, №3, том 85, 2021 (Принят к публикации 27.11.2020).
4. «PGI Geophysical data. October, November, December 2019» // Ed. V. Vorobjev. - Murmansk, Apatity: PGI KSC RAS. -2020. (12.8 а.л.)
5. «PGI Geophysical data. January, February, March 2020» // Ed. V. Vorobjev. -Murmansk, Apatity: PGI KSC RAS. -2020. (13.7 а.л.)
6. «PGI Geophysical data. April, May, June 2020» // Ed. V. Vorobjev. -Murmansk, Apatity: PGI KSC RAS. -2020.
7. «PGI Geophysical data. July, August, September 2020» // Ed. V. Vorobjev. -Murmansk, Apatity: PGI KSC RAS. -2020.

5. Изобретательская деятельность

К числу важнейших практических разработок Института относятся две уникальные научные установки (УНУ):

1. УНУ *«Радиотомографическая установка (РТУ) Полярного геофизического института КНЦ РАН»* для исследования арктической и субарктической ионосферы методами спутниковой радиотомографии; Радиотомографическая установка ПГИ является единственной установкой такого типа в России. Подобные установки имеются в США и Великобритании. Однако, параметры УНУ, используемой в ПГИ, превосходят подобные установки по протяженности области исследований (полярная шапка – средние широты). Таким образом, на сегодняшний день РТУ ПГИ не имеет аналогов в мире. Установка состоит из семи территориально-разнесенных приемных станций, которые на когерентных частотах осуществляют регистрацию радиосигналов от низкоорбитальных навигационных спутников. Приемные станции РТУ оснащены системами дистанционного управления и системами сбора и передачи данных и работает автономно в непрерывном режиме. Преимущества установки: 1) получение экспериментальных данных о состоянии ионосферы в широком пространственном диапазоне от архипелага Шпицберген до средних широт; 2) высокое временное разрешение; 3) получение локальных (неинтегральных) распределений электронной плотности; 4) устойчивость к возмущениям в высоких широтах.
2. УНУ *Система регистрации космических лучей на нейтронных мониторах ПГИ*, расположенных в Апатитах и в Баренцбурге (Шпицберген) и входящих в глобальную сеть мониторинга космических лучей (КЛ). Россия имеет более десятка станций нейтронных мониторов (НМ) от Чукотки (ст. мыс Шмидта) до Апатитов и от Баренцбурга до Кавказа (ст. Баксан). ПГИ владеет двумя НМ (обс. Апатиты и Баренцбург). НМ 18NM64 в Апатитах находится в режиме непрерывного мониторинга с мая 1969 г. НМ в Баренцбурге обладает уникальным конусом приема, направленных в сторону северного полюса эклиптики. Все остальные станции имеют конусы приема, ориентированные далеко от полюса несмотря на географическое расположение. В Российской сети НМ это единственная станция. Аналогичная станция есть у США в Гренландии (Туле). Объединение всех российских НМ в единую сеть (прибор) позволяет получать непрерывную и достоверную информацию о потоках и вариациях космических лучей в северном полушарии. А также выполнять бесперебойный мониторинг солнечных космических лучей, которые характеризуются внезапным появлением. Данная УНУ включена в мировую сеть мониторов, ведущих наблюдение за радиационной обстановкой в космосе: входит в тройку (вместе с Баксаном) мониторов с высокоточной (1 мс) привязкой, что позволяет исследовать синхронные быстропротекающие процессы на разнесенных до 3000 км мониторах.

На 01.12.2020 институт поддерживает в силе 4 патента РФ на изобретение, 2 патента на полезную модель и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Патенты на изобретение:

1. *Всенаправленная кольцевая антенна с активным противовесом (№ 2707956).* Авторы: Миличенко А.Н., Милкин В.И., Григорьев В.Ф., Полежаев В.С., Щепина Е.А.(ПГИ). Срок действия: 02.12.2019-02.04.2039.
2. *Синфазная горизонтальная диапазонная антенная система (№ 2593428)* Авторы: Милкин В.И., Лебедев В.Н., Калитенков Н.В., Шульженко А.Е., Григорьев В.Ф. (ПГИ; ФГБОУ ВПО «МГТУ»). Срок действия: 12.07.2016-13.04.2035.

3. *Способ обнаружения региональных зон повышенной трещиноватости и глубинных разломов литосферы (№ 2374666)* Авторы: Миличенко А.Н., Терещенко Е.Д., Григорьев В.Ф. (ПГИ). Срок действия: 27.11.2009-02.06.2028.
4. *Способ дальней радиосвязи с подводным объектом (№ 2440678)* Авторы: Терещенко Е.Д., Григорьев В.Ф., Милкин В.И., Калитенков Н.В. (ПГИ). Срок действия: 20.01.2012-28.12.2029.

Патенты на полезную модель:

1. *Устройство для исследования влияния искусственного электромагнитного поля на водные биологические объекты (№ 166414)* Авторы: Терещенко Е.Д., Григорьев В.Ф. (ПГИ). Срок действия: 07.11.2016-22.06.2026.
2. *Система беспроводной аварийно-вызывной шахтной сигнализации и связи на экстремально низких частотах (№ 130346)* Авторы: Миличенко А.Н., Терещенко Е.Д., Григорьев В.Ф., Милкин В.И. (ПГИ). Срок действия: 01.04.2013-01.04.2023.

Свидетельства о государственной регистрации программы ЭВМ:

1. *Программа расчета динамических спектров параметров электромагнитных волн по данным спутников Van Allen Probes (№ 2017613890)* Автор: Ларченко А.В. (ПГИ). Срок действия: 19.01.2017-01.04.2030.
2. *Программно-исследовательский комплекс построения высотных профилей скорости ионизации атмосферы, обусловленных выпадающими потоками авроральных электронов и протонов (№ 2016619707)* Авторы: Гомонов А.Д., Осепян А.П., Черняков С.М., Юрик Р.Ю. (ПГИ; ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

6. Организация научных совещаний и конференций

С 10 по 13 марта 2020г. в Полярном геофизическом институте г. Апатиты проходил 43-й ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений». В семинаре с докладами приняли участие более ста человек. В их числе 40 участников из других городов России (Москвы, Санкт-Петербурга, Калининграда, Нижнего Новгорода и Иркутска), из них не менее половины – молодые ученые. В семинаре участвовали представители 3 российских университетов и 14 научно-исследовательских институтов. Среди участников были четыре представителя зарубежных исследовательских институтов (из Японии, Финляндии и Норвегии). Было представлено 62 устных и 60 стендовых докладов. Семинар посвящен обсуждению новейших результатов, полученных российскими и иностранными учеными в области исследования геофизических процессов, наиболее интенсивно проявляющихся на широтах авроральной и субавроральной зон. Работа семинара проходила по следующим направлениям:

1. Бури и суббури;
2. Поля, токи, частицы в магнитосфере;
3. Волны, взаимодействие волна-частица;
4. Солнце, солнечный ветер, космические лучи;
5. Ионосфера и верхняя атмосфера;
6. Нижняя атмосфера, озон;
7. Гелиобиосфера.



Рис. 53. Начало сессии 43-го Апатитского семинара.



Рис. 54 Выступление профессора Университета г.Нагоя Ш.Ояма

В рамках культурной программы 43-го Апатитского семинара «Физика авроральных явлений» состоялся, ставший уже традиционным, концерт, в котором выступил молодёжный хор «Виктория» Апатитского Дворца культуры им. В.К. Егорова под руководством Виктории Филин.



Рис. 55 Организаторы семинара благодарят участников, руководителя и концертмейстера хора «Виктория»

Также были проведены экскурсии в «Музей истории изучения и освоения Европейского Севера России» (г. Апатиты) и поездка в экскурсионно-туристический центр «Снежная деревня» (г. Кировск).



Рис. 56 Иногородние участники Апатитского семинара на экскурсии в музее

По итогам Семинара изданы сборник трудов и тезисы докладов «Физика авроральных явлений». Наиболее интересные работы поданы в научный журнал «Известия Российской академии наук. Серия физическая» для публикации тематического выпуска «Физика авроральных явлений». Статьи приняты в печать.

В связи с запретом проведения массовых мероприятий и принятием карантинных мер были отменены несколько запланированных конференций.

В Апатитах:

- Ежегодный семинар-школа "Полярные процессы в атмосферах планет" (23 -25 марта 2020г.)
- 47th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods (10-14 августа 2020г.)

В Мурманске:

- 19-я международная научная конференция студентов и аспирантов "Проблемы Арктического региона" (18-19 мая 2020г.)
- «Гелиогеофизические исследования в Арктике» (14-17 сентября 2020г.)

Отменены и запланированные мероприятия (вторая зимняя школа для аспирантов и студентов в г. Тромсе, Норвегия) международного проекта ASTRA, активным участником которого является ПГИ. Проект направлен на научную подготовку молодого поколения ученых-геофизиков, чья деятельность будет связана с исследованиями Арктики.

7. Образовательная деятельность

Пять сотрудников ПГИ входят в состав трех госкомиссий по приему государственных экзаменов и защите дипломов МАГУ, являясь председателями двух из них.

В порядке довузовской подготовки школьников сотрудники института ведут факультативные занятия по физике в школе №15, руководят работами школьников по программе «Шаг в будущее», оказывают помощь в подготовке и рецензировании конкурсных работ. Для школьников 7-9 классов проводятся экскурсии в лаборатории института, читаются лекции о физике солнечной системы, исследованиях околоземного космического пространства.

8. Участие в популяризации естественнонаучных знаний

Одним из важнейших направлений деятельности является популяризация научных знаний для пользователей, не являющихся специалистами в тематике исследований Института. В настоящее время Север является местом активного туризма. В связи с этим, возросла необходимость разъяснения природы наиболее привлекательных для туристов высокоширотных явлений, информация о которых, многократно тиражируемая в СМИ и социальных сетях, не соответствует современным научным представлениям. В ведущем ежедневном периодическом издании Мурманской области «Мурманский вестник» опубликовано интервью директора ПГИ д.ф.-м.н. Козелова Б.В., в котором опровергается появившаяся в СМИ информация о том, что полярные сияния вскоре могут прекратиться на несколько лет (<https://www.mvestnik.ru/our-home/polyarnoe-siyanie-ne-vyklyuchat/>).

Результаты исследовательских работ также представляют интерес для широкого круга читателей, и важно их донести в доступной форме, что и было сделано в нескольких российских интернет-изданиях по теме работы «Frequency Dependence of Very Low Frequency Chorus Poynting Flux in the Source Region: THEMIS Observations and a Model», опубликованной в журнале «Geophysical Research Letters».

В новостях региональных информационных ресурсов освещались некоторые важные для Института события: подписание в сентябре 2020 года соглашения о сотрудничестве между ПГИ и МГТУ, репортаж телекомпании ТВ-21 о Полярном геофизическом институте в

честь 60-летнего юбилея Института. Планы о совместном запуске наноспутников анонсировала государственная телерадиокомпания «Мурман».

С целью популяризации научных знаний в СМИ было сделано несколько сообщений на тему геофизических явлений, характерных для авроральных широт. Телекомпанией ТВ-21 был подготовлен репортаж о явлениях арктического региона на основе интервью сотрудников ПГИ. А 7 ноября 2020 в рамках проведения музейно-выставочным центром АО «Апатит» «Ночи наук онлайн» заведующий лабораторией геофизических наблюдений, к.ф.-м.н. Сахаров Я.А, прочитал лекцию «Космическая погода в высоких широтах». Лекция проходила в онлайн формате и набрала более 4,5 тыс. просмотров.



Рис. 57. к.ф.-м.н. Сахаров Я.А читает лекцию

16 сентября 2020 года сотрудники ПГИ провели экскурсию для студентов 3-го курса Мурманского Арктического государственного университета, обучающихся по специальности ядерная энергетика и теплофизика. В рамках экскурсии студенты посетили здание ПГИ «Пирамида» и познакомились с научным оборудованием.



Рис. 58. Студенты МАГУ возле «Пирамиды»

10 декабря 2020 года в обсерватории Ловозеро состоялся большой телевизионный день. Утром сотрудники ПГИ Сахаров Я.А. и Ролдугин А.В. дали интервью о работе обсерватории для канала ТВ-21, а вечером провели экскурсию и выступили в качестве экспертов для съёмочной группы документального фильма «В поисках северного сияния» режиссера Ладос Кванания (репортаж готовится к выпуску).

Все актуальные новости о деятельности института находятся в открытом доступе на сайте <http://pgia.ru/lang/ru/news>.

БИБЛИОГРАФИЯ РАБОТ ИНСТИТУТА

Зарубежные публикации

1. Apatenkov S.V., Pilipenko V.A., Gordeev E.I., Viljanen A., Juusola L., Belakhovsky V.B., Sakharov Ya.A., Selivanov V.N. Auroral omega bands are a significant cause of large geomagnetically induced currents // *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL086677. doi.org/10.1029/2019GL086677. 2020
2. Barkhatov N.A., Vorobjev V.G., Revunov S.E., Barkhatova O.M., Revunova E.A., Yagodkina O.I. Neural network classification of substorm geomagnetic activity caused by solar wind magnetic clouds // *J. Atm. S-Ter. Phys.* 205. 105301. doi:10.1016/j.jastp.2020.105301. 2020
3. Belakhovsky V.B., Shiokawa K., Matsuoka A., Kasahara Y., Shinohara I., Miyoshi Y., Wang S.-Y., Kazama Y., Kasahara S., Yokota S. The Long-Lasting QP Emissions Observed On Arase Satellite And Lovozero Station // *IEEE Xplore*, 2020, pp. 1-4, doi: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232442.
4. Demekhov A.G., Taubenschuss U., Hanzelka M., Santolík O. Frequency Dependence of VLF Chorus Poynting Flux in the Source Region: THEMIS Observations and a Model // *Geophysical Research Letters*. —2020. —V.47, No.6. —e2020GL086958. <https://doi.org/10.1029/2020GL086958>
5. Demekhov A.G., Titova E.E., Maninnen J., Pasmanik D.L., Lubchich A.A., Santolík O., Larchenko A.V., Nikitenko A.S., Turunen T. Localization of the Source of Quasiperiodic VLF Emissions in the Magnetosphere by Using Simultaneous Ground and Space Observations: A Case Study // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2020, Volume 125, Issue 5, № e2020JA027776. DOI: 10.1029/2020JA027776
6. Despirak I.V., Kozelova T.V., Kozelov B.V., Lubchich A.A. Westward propagation of substorm by THEMIS and ground-based observations // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2020, V. 206, № 105325. DOI: 10.1016/j.jastp.2020.105325.
7. Gomonov, A., Yurik, R., Zolotov, O. Earth's ionosphere D-region vertical electron density profile data during March 1-31, 2017 according to high-latitude Tumann observatory partial reflection radar measurements and Polar Geophysical Institute's model // *Data in Brief*, 2020, 31, 105848. DOI: 10.1016/j.dib.2020.105848
8. Grach V.S., Demekhov A.G. Precipitation of Relativistic Electrons Under Resonant Interaction with Electromagnetic Ion-Cyclotron Wave Packets // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. —2020. —V.125, No.2. e2019JA027358. <https://doi.org/10.1029/2019JA027358>
9. Kozyreva, V. Pilipenko, R. Krasnoperov, L.J. Baddeley, Ya. Sakharov, M. Dobrovolsky Fine structure of substorm and geomagnetically induced currents; May 2020 *Annals of Geophysics* 63(2):1-21 DOI: 10.4401/ag-8198
10. Manninen J., Kleimenova N., Kozlovsky A., Fedorenko Yu., Gromova L., Turunen T. Ground-Based Auroral Hiss Recorded in Northern Finland with Reference to Magnetic Substorms // *Geophysical Research Letters*, V. 47, Issue 6, 2020. <https://doi.org/10.1029/2019GL086285>

11. Nemec F., Santolik O., Hospodarsky G.B., Hajos M., Demekhov A.G., Kurth W.S., Parrot M., Hartley D. P. Whistler Mode Quasiperiodic Emissions: Contrasting Van Allen Probes and DEMETER Occurrence Rates // J. Geophys. Res. Space Physics. — 2020. — V. 125, No.4. E2020JA027918. <https://doi.org/10.1029/2020JA027918>
12. Safargaleev V.V., Kozlovsky A.E., and Mitrofanov V.M. Polar substorm on 7 December 2015: preonset phenomena and features of auroral breakup // Annales Geophysicae, 38, 901–918, <https://doi.org/10.5194/angeo-38-901-2020>, 2020
13. Shklyar, D. R., Manninen, J., Titova, E. E., Santolík, O., Kolmašová, I., & Turunen, T. (2020). Ground and space signatures of VLF noise suppression by whistlers. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, e2019JA027430. <https://doi.org/10.1029/2019JA027430>
14. Tereshchenko E.D., Cherniakov S.M., Yurik R.Y., Rietveld M.T., Häggström I. Total electron content measurements in the ionosphere disturbed by high-power high-frequency waves by the methods of incoherent scattering of radio waves and radio sounding by GLONASS satellite signal // Radiophysics and Quantum Electronics. — 2020. — T. 62, № 10. — С. 667-676.

Публикации в российских рецензируемых журналах

1. Balabin Yu. V., B. B. Gvozdevsky, A. V. Germanenko, E. A. Mikhalko, E. A. Mauricev, L. I. Shchur A Compact Muon Telescope for Monitoring Secondary Cosmic Ray Fluxes // Instruments and Experimental Techniques. 2020. V. 63. P. 860–863. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0020441220060032>.
2. Lobkovsky L.I., Kononov M.V., Shipilov E. V. Geodynamic causes of the emergence and termination of cenozoic shear deformations in the Khatanga–Lomonosov fault zone (Arctic) // Doklady Earth Sciences. — 2020. — Vol. 492, no. 1. — P. 356–360. DOI: [10.1134/S1028334X20050104](https://doi.org/10.1134/S1028334X20050104)
3. Tereshchenko E.D., Cherniakov S.M., Yurik R.Yu., Rietveld M.T., Haggstrom I. Total electron content measurements in the ionosphere disturbed by high-power high-frequency waves by the methods of incoherent scattering of radio waves and radio sounding by GLONASS satellite signals // Radiophysics and Quantum Electronics. 2020. V. 62, № 10. P. 667-676. (0.95 а. л.)
4. Воробьев В.Г., Ягодкина О.И., Антонова Е.Е. Давление ионов в различных областях авроральных высыпаний дневного сектора // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 60. № 6. С. 740–750. doi:10.31857/S0016794020060140. 2020.
5. Грач В.С., Демехов А.Г. Режимы резонансного взаимодействия электронов с авроральным километровым радиоизлучением // Известия вузов. Радиофизика. — 2020. — Т. 63, вып.3. — С.173-194.
6. Дэспирак И.В., Клейменова Н.Г., Громова Л.И., Громов С.В., Малышева Л.М. Суперсуббури во время бурь 7-8 сентября 2017 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2020. №3. С. 308-317. DOI: [10.31857/S0016794020030049](https://doi.org/10.31857/S0016794020030049)
7. Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Демин В.И., Лапченко В.А. Содержание озона над территорией Российской Федерации в первом квартале 2020 г. // Метеорология и гидрология. 2020. №6. стр. 135-144

8. Иванова Н.С., Крученицкий Г.М., Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Лапченко В.А., Демин В.И. Содержание озона над территорией Российской Федерации в 2019 г. // Метеорология и гидрология. 2020. №3. стр. 127-135
9. Кириллов А.С., Белаховский В.Б. Свечение полос Лаймана-Бирджа-Хопфилда N2 в атмосфере Земли во время высыпания высокоэнергичных электронов. // Геомагнетизм и Аэрномия, 2020, т.60, №6, с.796-802. doi: 10.31857/S0016794020060073.
10. Кириллов А.С., Белаховский В.Б. Свечение полос молекулярного азота в атмосфере Земли во время высыпания высокоэнергичных электронов. // Геомагнетизм и Аэрномия, 2020, т.60, №1, с.93-98. doi: 10.31857/S0016794020010071.
11. Любич А.А., Демехов А.Г., Яхнин А.Г. Характеристики питч-угловой анизотропии энергичных протонов в дневном секторе магнитосферы, обусловленной дрейфом частиц в недипольном магнитном поле // Геомагнетизм и аэрномия. — 2020. — Т. 60, вып.4. — С.45-56. <https://doi.org/10.7868/S0016794017010084>
12. Маннинен Ю., Клейменова Н.Г., Громова Л.И., Федоренко Ю.В., Никитенко А.С., Лебедь О.М. Дневные ОНЧ излучения в восстановительную фазу магнитной бури: событие 5 января 2015 г. // Геомагнетизм и аэрномия, 2020, том 60, № 3, с. 301-310. DOI: 10.1134/S0016793220030111
13. Мингалев О.В., Мингалев И.В., Малова Х.В., Мерзлый А.М., Мингалев В.С., Хабарова О.В., Описание крупномасштабных процессов в околоземной космической плазме. // Физика плазмы. 2020. Т. 46, № 4, С. 329–350. DOI: 10.31857/S0367292120030087 (1,3 а.л.)
14. Пасманик Д.Л., Демехов А.Г. Влияние эффектов распространения свистовых волн в магнитосфере Земли на их циклотронное усиление // Известия вузов. Радиофизика. — 2020. — Т. 63, вып.4. С. 267-284.
15. Пильгаев С.В., Федоренко Ю.В., Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Никитенко А.С., Ларченко А.В., Филатов М.В., Лебедь О.М., Фролов И.Е., Козелов Б.В. Первые результаты ОНЧ-наблюдений во время полярной экспедиции “Трансарктика 2019” // Геомагнетизм и аэрномия, 2020, том 60, № 2, с. 216–219. DOI: 10.31857/S0016794020020121
16. Терещенко Е.Д., Терещенко П.Е. Квазистационарное приближение в задаче возбуждения низкочастотных электромагнитных полей в литосфере // Журнал технической физики - 2021, 1. С. 82. DOI: 10.21883/JTF.2021.01.50277.119-20
17. Четверушкин Б.Н., Мингалев И.В., Федотова Е.А., Орлов К. Г., Чечеткин В.М., Мингалев В.С. Расчет собственного излучения атмосферы в модели общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли // Математическое моделирование, 2020, Т. 32, № 2, С. 77-100. DOI: 10.20948/mm-2020-02-05 (1,4 а.л.)
18. Шипилов Э.В., Лобковский Л.И., Кириллова Т.А. О тектоно-геодинамических взаимоотношениях Евразийского бассейна и хребта Ломоносова с континентальной окраиной Сибири по новым сейсмическим данным // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 4(40). — С. 34–42. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-4-34-42
19. Шкляр Д.Р., Е.Е. Титова, Ю. Маннинен, Т.В. Романцова. Инкременты свистовых волн в магнитосфере по измерениям потоков энергичных электронов на спутнике VAN ALLEN PROBE A // ГЕОМАГНЕТИЗМ И АЭРОНОМИЯ, 2020, том 60, No 1, с. 49-60

20. Галахов А. Анализатор спектра поля атмосфериков – инструмент изучения гелиогеофизической обстановки. // Современная Электроника, 2020, №8, с.30-35.
21. Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на Российской станции в поселке «Баренцбург» (Шпицберген) // Российская Арктика. 2020. №9. с. 30-40.
22. Любич В.А., Шпилов Э.В., Юрик Р.Ю. Первые результаты экспериментального электромагнитного зондирования земной коры на полуостровах Средний и Рыбачий // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. — 2020. — № 17. — С. 334–338. DOI: 10.31241/fns.2020.17.063 (0,38 а.л.)
23. Шпилов Э. В., Кириллова Т. А. Тектоника зоны сочленения Евразийского бассейна и хребта Ломоносова с континентальной окраиной Сибири // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. — 2020. — № 17. — С. 563–567. DOI: 10.31241/FNS.2020.17.109

Публикации в трудах международных конференций

1. Despirak I.V., Lubchich A.A., Kleimenova N.G. Certain space weather conditions for supersubstorms appearance // Proceedings of Twelfth Workshop "Solar influences on the magnetosphere, ionosphere and atmosphere", Primorsko, Bulgaria, June 2020 Book of Proceedings.pdf, p. 89-94, DOI: 10.31401/WS.2020.proc
2. Akhmetov O. I., I. V. Mingalev, O. V. Mingalev, V. B. Belakhovsky and Z. V. Suvorova, "The Propagation of the Electromagnetic Waves at Frequencies of the Russian Radio Navigation System RSDN-20 (Alpha) during a substorm at high latitude ionosphere," 2020 URSI GASS IEEE, Rome, Italy, 2020, pp. 1-4, doi: 10.23919/URSIGASS49373.2020.9232139.

Публикации в трудах российских конференций

1. Шпилов Э.В. Тектоника и геодинамика Хатангско-Ломоносовской зоны разломов // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ЛП Тектонического совещания. Т. 2 — М: ГЕОС, 2020. — С. 427–432.
2. Barkhatov N.A., Vorobjev V.G, Revunova E.A., Undalova I.S. Statistical study of the CME relationship with solar flares // “Physics of Auroral Phenomena”, Proc. XXXXIII Annual Seminar, Apatity, 2020, p. 65-68, DOI:10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.7-10. (0.5 а.л.)
3. Barkhatova O.M., Vorobjev V.G., Revunov S.E., Dolgova D.S., Kosolapova N.V. ULF disturbances caused by interplanetary magnetic clouds turbulent sheath // “Physics of Auroral Phenomena”, Proc. XXXXIII Annual Seminar, Apatity, 2020, p. 101-104, DOI:10.25702/KSC.2588-0039.2020.43. 101-,, (0.5 а.л.)
4. Belakhovsky V.B., Jin Y., Miloch W.J. Impact of the substorms and polar cap patches on GPS radio waves at polar latitudes. // Proceedings of the 43nd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.84-86. doi: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.84-86.
5. Dashkevich Zh.V., B.V. Kozelov, A.G. Demekhov, S. Oyama, Y. Miyoshi, S. Kasahara, S. Yokota, A. Matsuoka, K. Keika, T. Hori, I. Shinohara. Evolution of the energetic electron flux observed by ARASE satellite and simultaneous aurora in the case of March 31, 2017,

- 00-01 UT. // "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XXXXIII Annual Seminar, Apatity, 2020, p. 91-95, DOI:10.25702/KSC.2588-0039.2020.43. 91-95. (0.5 а.л.)
6. Despirak I.V, Lubchich A.A., Kleimenova N.G. Several special conditions in the solar wind for a supersubstorm appearance Magnetic substorms in dependence of large-scale structure of the solar wind // "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XXXXIII Annual Seminar, Apatity, 2020, p. 7-10, DOI:10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.7-10.
 7. Kirillov A.S., Werner R., Guineva V. The simulation of vibrational populations of electronically excited N₂ and O₂ in the middle atmosphere of the Earth during precipitations of high-energetic particles. // Proceedings of the 43rd Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena" 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.150-153. doi: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.150-153.
 8. Kleimenova N.G., Manninen J., Turunen T., Gromova L.I., Fedorenko Yu.V., Nikitenko A.S., Lebed O.M. Unexpected high-frequency "birds"-type VLF emissions // Proc. 43rd Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», Apatity, 2020.
 9. Kulikov Y.Y., Andriyanov A.F., Ryskin V.G., Demkin V.M., Demin V.I., Kirillov A.S., Shishaev V.A. Results of microwave monitoring of middle atmosphere ozone in polar latitudes for two winter seasons 2017-2018 and 2018-2019. // Proceedings of the 43rd Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena" 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.154-157. doi: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.154-157.
 10. Антоненко О.В., Кириллов А.С. Моделирование спектра свечения ночного неба Земли и Венеры для систем полос, излучаемых при спонтанных переходах между различными состояниями молекулы электронно-возбужденного кислорода. // Proceedings of the 43rd Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena" 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.96-100. doi: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.96-100.
 11. Ахметов О.И., И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, В.Б. Белаховский, З.В. Суворова. Распространение электромагнитных волн в атмосфере высоких широт при различных гелиогеофизических условиях в диапазоне ОНЧ // Сборник трудов 43-го Апатитского семинара "Физика авроральных явлений"
 12. Белаховский В.Б., В.А. Пилипенко, Я.А. Сахаров, В.Н. Селиванов Рост геомагнитно-индуцированных токов в линиях электропередач во время магнитной бури 25-26 августа 2018 года // Сборник трудов 43-го Апатитского семинара "Физика авроральных явлений" 10-13.03.2020, Апатиты. Изд. КНЦ РАН. P.15-18
 13. Белаховский В.Б., Пилипенко В.А., Миоши Е. Вклад УНЧ и ОНЧ волновых возмущений в рост потоков релятивистских электронов. // Proceedings of the 43rd Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena" 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.43-46. doi: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.43-46.
 14. Воробьев В.Г., Ягодкина О.И., Антонова Е.Е. Сравнительные характеристики давления выпадающих ионов в дневном секторе овала и LLBL // // "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XXXXIII Annual Seminar, Apatity, 2020, p. 23-26, DOI:10.25702/KSC.2588-0039.2020.43. 23-... (0.5 а.л.)
 15. Демин В.И., Иванов Б.В. Восстановление длинных рядов температуры воздуха в Баренцбурге для оценки климатических изменений на архипелаге Шпицберген. // Proceedings of the 43rd Annual Seminar "Physics of Auroral Phenomena" 10-13 March

2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.162-166. doi: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.162-166.
16. Демин В.И., Козелов Б.В. Фёновые эффекты в Баренцбурге (Шпицберген). // Proceedings of the 43rd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.167-171. doi: 10.25702/KSC.2588-0039.2020.43.167-171.
 17. Сафаргалеев В.В., Т.И. Сергиенко, К. Хосокава, В.Н. Митрофанов, Я. Огава, Ё. Миоши, Ш. Ояма, С. Курита, Р. Фуджии, Влияние ориентации пульсирующей дуги на свойства связанных с ней геомагнитных пульсаций // Сборник трудов 43-го Апатитского семинара "Физика авроральных явлений" 10-13.03.2020, Апатиты. Изд. КНЦ РАН. С.128 -131
 18. Шагимуратов И.И., Ефишов И.И., Филатов М.В., Захаренкова И.Е., Тепенитцина Н.Ю., Якимова Г.А. Климатология авроральных возмущений и фазовых флуктуаций GPS сигналов: прямое сопоставление // Proc. 43rd Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», Apatity, 2020.
 19. Сецко П. В., О. В. Мингалев, И. В. Мингалев, Х. В. Малова, М. Н. Мельник, А. В. Артемьев, О. В. Хабарова, Условие силового баланса в токовом слое в бесстолкновительной плазме из протонов и замагниченных электронов // Сборник трудов XVII Конференции молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования", (Москва, 2020 г.). – Москва: ИКИ РАН, 2020. - С.123-133. (0,6 а.л.)
 20. Despirak Irina, Andris Lubchich, Natalia Kleimenova, Liudmila Gromova, Sergey Gromov, Liudmila Malysheva. Supersubstorms during two strong magnetic storms // Proceedings of VII International Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety", Kaliningrad, Russia, 8-13 June, 2020, Book of Proceedings.pdf, ISBN 978-5-6042044-3-6, p. 97-99.
 21. Kulikov Y.Y., Andriyanov A.F., Demin V.I., Demkin V.M., Kirillov A.S., Ryskin V.G., Shishaev V.A. Influence of sudden stratospheric warming on polar mesospheric ozone. // VII International Conference «Atmosphere, Ionosphere, Safety» (AIS-2020), Kaliningrad, Russia, June 03-09, Proceeding (Part 1), P.10-13, 2020.
 22. Мингалев И.В., Орлов К.Г., Федотова Е.А., Мингалев В.С., Мингалев О.В. Современные модели общей циркуляции атмосферы Земли. Перспективы развития // Материалы VI Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» (Санкт-Петербург, 16-18 сентября 2020г.). - Санкт-Петербург: Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. 2020. - С.9-18. (0,7 а.л.)

Тезисы докладов на международных конференциях

1. Podgorny I M, A I Podgorny, A V Borisenko, E V Vashenyuk, Yu. V. Balabin, N. S. Meshalkina, B. B. Gvozdevskiy. Investigation of the mechanism of solar flare and acceleration of solar cosmic rays in real conditions of the solar corona // Abstract book, Moscow, October, 2020.
2. Despirak Irina, Veneta Guineva. MID-latitude geomagnetic effects during some intense substorms // Sixteenth international scientific conference “Space, Ecology, Safety” (SES-

2020), Sofia, Bulgaria, 4–6 November, 2020.
http://space.bas.bg/SES/index/docs/2020/2020_SES_Programme.pdf.

3. Verner R., Valev D., Guineva V., Kirillov A., Petkov B. Low ozone events over Bulgaria - a case study. (Устный доклад) // Programme of Sixteenth Scientific Conference “Space, Ecology, Safety”, Bulgarian Academy of Sciences, 4–6 November, 2020, Sofia, Bulgaria, p.7.
4. Demekhov A.G., Kozelov B.V., Popova T.A., Yahnin A.G., Nikitenko A.S., Fedorenko Yu.V., Roldugin A.V., Titova E.E. Manninen J. Observations of Low-Frequency Electromagnetic Waves and Auroras at Kola Peninsula and Scandinavia During ERG Flybys // Abstracts of poster presentations at the 9th VERSIM workshop (virtual meeting), 16-20.11.2020. P. 10.
5. Demekhov A.G., Popova T. A., Yahnin A. G., Yokota S., Kasahara S., Keika K., Hori T., Tsuchiya F., Kumamoto A., Kasahara Y., Matsuoka A., Shoji M., Miyoshi Y., Shinohara I., Raita T. Conjugate Observations of Pc1 Waves on the Ground and Onboard ERG and Van Allen Probes and Related Variations of Energetic Ion Flux // Abstracts of poster presentations at the 9th VERSIM workshop (virtual meeting), 16-20.11.2020. P. 68.
6. Demekhov A.G., Taubenschuss U., Santolík O. Frequency Dependence of VLF Chorus Poynting Flux in the Source Region: THEMIS Observations and a Model // Abstracts of oral presentations at the 9th VERSIM workshop (virtual meeting), 16-20.11.2020. P. 26.
7. Fedorenko Y.V., Nikitenko A.S., Manninen J., Klemenova N.G., Larchenko A.V., Pilgaev S.V., Gromova L.I., Lebed O.M. First Results of the Simultaneous Observations of Auroral Hiss at Three Stations Located at Auroral and Polar Latitudes
8. Grach V. S., Demekhov A. G. Acceleration of Energetic Electrons by the Auroral Kilometric Radiation // Abstracts of poster presentations at the 9th VERSIM workshop (virtual meeting), 16-20.11.2020. P. 39.
9. Němec F., Santolík O., Hospodarsky G. B., Demekhov A.G., Bezděková B., Hajoš M., Kurth W. S., Hartley D. P., Parrot M. Frequency Dependence of VLF Chorus Poynting Flux in the Source Region: THEMIS Observations and a Model // Abstracts of oral presentations at the 9th VERSIM workshop (virtual meeting), 16-20.11.2020. P. 43.
10. Nikitenko A.S., Lebed O.M., Fedorenko Y.V., Manninen J., Kleimenova N.G., Gromova L.I. High-Latitude Auroral Hiss: Observations and Modelling
11. Popova T. A., Lyubchich A.A., Demekhov A.G., Yahnin A. G. Pitch-Angle Diffusion of Energetic Protons Upon Their Interaction with EMIC Waves: Comparison of Calculation Results with THEMIS and NOAA/POES Data // Abstracts of poster presentations at the 9th VERSIM workshop (virtual meeting), 16-20.11.2020. P. 25.

Тезисы докладов на российских конференциях

1. Apatenkov S.V., Pilipenko V. A., Gordeev E. I., Viljanen A., Juusola L., Belakhovsky V. B., Sakharov Ya. A., Selivanov V. N. Auroral omega bands are a significant cause of large geomagnetically induced currents // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 294.

2. Ахметов О.И., Мингалев И.В., Мингалев О.В., Белаховский В.Б., Суворова З.В. Распространение электромагнитных волн в области высоких широт при различном состоянии ионосферы на частотах системы радионавигации РСДН-20 (Альфа) // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 103. (0,06 а.л.)
3. Белаховский В.Б. Вклад суббуревых высыпаний в полное электронное содержание ионосферы. (Стендовый доклад) // Сборник тезисов 15-й ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе», Москва, ИКИ РАН, 10-14 февраля 2020 г., с. 114.
4. Белаховский В.Б., Пилипенко В.А., Шиокава К., Миоши Е. Оценка вклада УНЧ и ОНЧ волновых возмущений в рост потоков электронов до релятивистских энергий. (Стендовый доклад) // Сборник тезисов 15-й ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе», Москва, ИКИ РАН, 10-14 февраля 2020 г., с. 163.
5. Белаховский, В.А. Пилипенко, Я.А. Сахаров, В.Н.Селиванов Вклад суббуревых возмущений в рост геомагнитно-индуцированных токов, регистрируемых в линиях электропередач // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 300.
6. Грач В.С., Демехов А.Г. Ускорение электронов при взаимодействии с авроральным излучением // Тез. Докл. 15-й ежегодной конференции "Физика плазмы в Солнечной системе" (ИКИ РАН, Москва, 10-14.02.2020). С.250.
7. Демехов А.Г., Козелов Б.В. Попова Т.А., Яхнин А.Г., Никитенко А.С., Федоренко Ю.В., Ролдугин А.В., Титова Е.Е., Маннинен Ю. Наблюдения низкочастотных электромагнитных волн и полярных сияний на Кольском полуострове и в Скандинавии во время сопряженных пролетов спутника ERG // Пятнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе" 10-14 февраля 2020 г., ИКИ РАН Москва, Сборник тезисов, с. 266. 2020.
8. Демехов А.Г., Таубеншус У., Ганзелка М., Сантолик О. Частотная зависимость потока энергии в хоровых ОНЧ излучениях в области источника: сопоставление наблюдений THEMIS и результатов моделирования // Тез. докл. 15-й ежегодной конференции "Физика плазмы в Солнечной системе" (ИКИ РАН, Москва, 10-14.02.2020). С.249.
9. Дэспирак И.В., Клейменова Н.Г., Громова Л.И., Громов С.В., Малышева Л.М. Долготные геомагнитные эффекты во время сильных магнитных бурь 7-8 сентября 2017 и 25-26 августа 2018 // 15-ая конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 10-14 февраля 2020., ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов докладов, стр. 155, 2020. (https://plasma2020.cosmos.ru/docs/plasma2020-abstract-book_1102.pdf)
10. Дэспирак И.В., Козелова Т.В., Козелов Б.В., Любчик А.А. Предвестники и долготные эффекты суббури: по данным MAIN камер в Апатитах и спутникам THEMIS // 15-ая конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 10-14 февраля 2020., ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов докладов, стр. 132, 2020. (https://plasma2020.cosmos.ru/docs/plasma2020-abstract-book_1102.pdf)
11. Дэспирак И.В., Любчик А.А., Клейменова Н.Г. Геомагнитные возмущения при различных потоках солнечного ветра // 15-ая конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 10-14 февраля 2020., ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов

докладов, стр. 156, 2020. (https://plasma2020.cosmos.ru/docs/plasma2020-abstract-book_1102.pdf)

12. Кириллов А.С., Белаховский В.Б. Кинетика синглетных состояний молекулярного азота в средней атмосфере Земли во время высыпания релятивистских электронов. (Устный доклад) // Сборник тезисов 15-й ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе», Москва, ИКИ РАН, 10-14 февраля 2020 г., с.105.
13. Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Федоренко Ю.В., Громова Л.И., Никитенко А.С., Лебедь О.М., Турунен Т. ОНЧ шумовая буря: анализ одного из событий
14. Ларченко А.В., Федоренко Ю.В., Лебедь О.М. Особенности генерации и распространения СНЧ/ОНЧ-сигнала ионосферного источника в эксперименте по нагреву ионосферы модулированным КВ-радиоизлучением
15. Маршалко Е.Е., Кругляков М.С., Кувшинов А.В., Соколова Е.Ю., Пилипенко В.А., Козырева О.В., Епишкин, Д.В., Сахаров, Я.А. Первые результаты расчета геоиндуцированных токов на основе трехмерно моделирования геоэлектрических полей на Кольском полуострове и в Карелии // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 316.
16. Мингалев, А.М. Мерзлый, А.Б. Талалаев, Л.Г. Устищенко, В.В. Тихонов, А.Т. Янаков, Я.А.Сахаров, З.В. Суворова. Мониторинг ионосферы с помощью радиотрасс, проходящих на высоких и средних широтах // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 279. (0,03 а.л.)
17. Мингалев, З.В. Суворова, А.М. Мерзлый, А.Б. Талалаев, В.В. Тихонов, А.Т. Янаков, В.С. Мингалев. Расчеты зон засветки односкачковыми лучевыми траекториями радиоволн КВ-диапазона для передатчиков, расположенных на средних широтах // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 280. (0,03 а.л.)
18. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, А.М. Мерзлый, В.С. Мингалев, О.В. Хабарова. Система уравнений Максвелла для плазмы в приближении квазинейтральности // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 172. (0,06 а.л.)
19. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, П.В. Сецко, М.Н. Мельник, А. В. Артемьев, О.В. Хабарова, Л.М. Зелёный. Силовой баланс в токовых слоях в магнитосфере Земли и в солнечном ветре // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 324. (0,06а.л.)
20. Никитенко А.С., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Маннинен Ю., Клейменова Н.Г, Громова Л.И. Высокоширотные наземные наблюдения аврорального хисса и моделирование его прохождения к земной поверхности
21. Сахаров Я.А., Кудряшова Н.В., Билин В.А., Саранский С.Н. Сбои в системах автоматики Октябрьской железной дороги во время геомагнитных возмущений // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 317.

22. Сахаров Я.А., Селиванов В.Н., Билин В.А. Экстремальные события ГИТ на Северо-Западе России // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 296.
23. Селиванов В.Н., Сахаров Я.А. Влияние геоиндуцированных токов на содержание гармоник в электрических сетях // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 302.
24. Титова Е.Е., Демехов А.Г., Любич А.А., Маннинен Ю., Пасманик Д.Л., Никитенко А.С., Ларченко А.В. Наблюдения квазипериодических ОНЧ-излучений на Земле и на спутниках VanAllenProbes, локализация областей их генерации и выхода к Земле // Тез. Докл. 15-й ежегодной конференции "Физика плазмы в Солнечной системе" (ИКИ РАН, Москва, 10-14.02.2020). С.246.
25. Федоренко Ю.В., Пильгаев С.В., Клейменова Н.Г., Маннинен Ю., Никитенко А.С., Ларченко А.В., Филатов М.В., Лебедь О.М., Благовещенская Н.Ф., Фролов И.Е., Козелов Б.В. ОНЧ-наблюдения во время высокоширотной экспедиции “Трансарктика 2019” (стендовый)
26. Хабарова О.В., Зелёный Л.М., Кузнецов В.Д., Обридко В.Н., Малова Х.В., Григоренко Е.Е., Кислов Р.А., Мингалев О.В., Мингалев И.В., Попов В.Ю. Солнечный ветер в современном 3-d понимании. Иерархия масштабов и процессов // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 185. (0,06 а.л.)
27. Хабарова О.В., Малова Х.В., Кислов Р.А., Мингалев О.В. Динамический гелиосферный токовый слой и его роль в локальном ускорении частиц в солнечном ветре // 15-я Ежегодная Конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Москва, 10–14 февраля 2020 г., Сборник тезисов. - Москва: ИКИ РАН, 2020. - С. 320. (0,04 а.л.)
28. Яхнин, Т.А. Яхнина, Т. Райта, Ю. Маннинен. Источники геомагнитных пульсаций Pc1 во время события 11 сентября 2017 г. 15-ая конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 10-14 февраля 2020., ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов докладов, стр. 247, 2020. (<https://plasma2020.cosmos.ru/docs/PLASMA-2020-IKI-AbstractBook.pdf>)
29. Belakhovsky V.B., Jin Y., Miloch W.J., Koustov A.V., Reimer A. Influence of the substorm precipitations and polar cap patches on the GPS signals at polar latitudes. (Стендовый доклад) // Abstracts of the 43rd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.46.
30. Cherniakov S.M., Turyansky V.A. Variations in mesospheric temperature during Polar Mesospheric Summer Echo // Physics of Aurora Phenomena. 43rd Annual Seminar, 10-13 March 2020. Abstracts. Apatity: PGI, 2020. С. 47. .
31. Demekhov A.G., Kozelov B.V., Popova T.A., Yahnin A.G., Nikitenko A.S., Fedorenko Yu.V., Roldugin A.V., Titova E.E., Manninen J. Observations of auroras and low-frequency electromagnetic waves at Kola Peninsula and Scandinavia during Arase/ERG flybys // Physics of Auroral Phenomena 43rd Annual Seminar 10 – 13 March 2020, PGI Apatity, Abstracts, p.23. 2020.
32. Despirak I.V., A.A. Lubchich, N.G. Kleimenova. Longitudinal distribution of the westward electrojets during supersubstorms // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd

- Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. P.13.
33. Despirak I.V., Kozelova T.V., Kozelov B.V., Lubchich A.A. Westward propagation of substorm by THEMIS and ground-based observations // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. P.13.
 34. Ivanov V.E., Dashkevich Zh.V., Kozelov B.V. Finding the energy spectrum of the auroral electrons by the optical data of the MAIN system
 35. Kirillov A.S., Werner R., Guineva V. The simulation of vibrational populations of electronically excited N₂ and O₂ in the middle atmosphere of the Earth during precipitations of high-energetic particles. (Стеновый доклад) // Abstracts of the 43rd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.64.
 36. Kleimenova N.G., Manninen J., Turunen T., Fedorenko Yu.V., Nikitenko A.S., Gromova L.I., Lebed O.M. Non-understood high-frequency “birds”-type VLF emissions
 37. Kozelov B.V., Roldugin A.V. Extracting information about ionosphere-magnetosphere plasma from auroral observations
 38. Kulikov Y.Y., Andriyanov A.F., Demin V.I., Demkin V.M., Kirillov A.S., Ryskin V.G., Shishaev V.A. Results of microwave monitoring of the middle atmosphere ozone in polar latitudes for two winter seasons 2017-2018 and 2018-2019. (Устный доклад) // Abstracts of the 43rd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.64.
 39. Larchenko A.V., Fedorenko Yu.V., Lebed’ O.M. Peculiarities of the generation and propagation ELF/VLF waves emitted by EISCAT/heating facility
 40. Popova, A.G. Demekhov, A.G. Yahnin, S. Yokota, S. Kasahara, K. Keika, T. Hori, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, Y. Kasahara, A. Matsuoka, M. Shoji, Y. Miyoshi, I. Shinohara, T. Raita EMIC waves and proton precipitation related to the westward drift of energetic protons in the evening sector // Physics of Auroral Phenomena 43rd Annual Seminar 10 – 13 March 2020, PGI Apatity, Abstracts, p.26. 2020.
 41. Roldugin V.C., Roldugin A.V. High altitude polar stratospheric clouds at Lovozero in 2020
 42. Roldugin, A.V. Roldugin. Pc5 pulsation layout during SC event on 24 January 2012 // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. C. 26. (0.04 а.л)
 43. Roldugin, A.V. Roldugin. The cases of weak auroras during Pc1-2 pulsations in Lovozero. // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. C. 26. (0.04 а.л)
 44. Sakharov Ya.A., N.V. Yagova, V.A. Pilipenko Pc5/Pi3 pulsations and geomagnetically induced currents // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43th Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. C.15 –Apatity: PGI RAS
 45. Titova E.E., Demekhov A.G., Lubchich A.A., Manninen J., Pasmanik D.L., Nikitenko A.S., Larchenko A.V. Conjugate ground-spacecraft observations of quasiperiodic VLF emissions

- // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. С. 27. (0.04 а.л)
46. Vorobjev V.G., Yagodkina O.I., Antonova E.E. Solar wind kinetic pressure influence on the plasma pressure in dayside precipitation regions // // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. P. 20. (0.04 а.л) – устный.
 47. Werner R., Petkov B., Valev D., Guineva V., Atanasov A., Danov D., Kirillov A. UVI forecast over Bulgaria – First results. (Стендовый доклад) // Abstracts of the 43rd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.66.
 48. Yagodkina O.I., Vorobjev V.G., Roldugin A.V. Observations of aurorae over the Kola Peninsula // // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. P. 16. (0.04 а.л) – устный.
 49. Yahnina, A.G. Yahnin, T. Raita, J. Manninen. Sources of Pc1 pulsations during the September 11, 2017 event. // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. С. 19. (0.04 а.л)
 50. Антоненко О.В., Кириллов А.С., Куликов Ю.Н. Моделирование спектра свечения ночного неба Земли для систем полос, излучаемых при спонтанных переходах между различными состояниями молекулы электронно-возбужденного кислорода. // Abstracts of the 43rd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.54.
 51. Ахметов, И.В. Мингалев, О.В. Мингалев, В.Б. Белаховский, З.В. Суворова. Распространение электромагнитных волн в условиях магнитной суббури 11.12.2015 на частотах российской радионавигационной системы РСДН-20 (Альфа) // Abstracts of the 43rd Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 10-13 March, 2020. – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI, 2020. – P. 30. (0,03 а.л.)
 52. Балабин Ю.В. Изучение возможных мест размещения новых нейтронных мониторов // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
 53. Балабин, А.А. Луковникова, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, И.В. Янковский. Новая секция НМ в Восточных Саянах // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
 54. Балабин, А.В. Белов, Р.Т. Гущина, В.Г. Янке. Об особенностях модуляции космических лучей в 23-24 циклах солнечной активности // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
 55. Балабин, А.В. Белов, Р.Т. Гущина, В.Г. Янке. Особенности минимума солнечной активности в текущем цикле // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
 56. Бархатов Н.А., Воробьев В.Г., Ревунова Е.А., Ундалова И.С. Статистическое исследование связи KBM с солнечными вспышками // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. С. 38. (0.04 а.л) – постер.

57. Бархатова О.М., Воробьев В.Г., Ревунов С.Е., Долгова Д.С., Косолапова Н.В. Ночная ионосферная УНЧ возмущенность, обусловленная турбулентными оболочками магнитных облаков солнечного ветра // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. С. 55. (0.04 а.л) – постер.
58. Белаховский В.Б. Вклад суббуревых высыпаний в полное электронное содержание ионосферы. (Стендовый доклад) // Abstracts of the 43nd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.56.
59. Белаховский В.Б., Пилипенко В.А., Шиокава К., Миоши Е. Оценка вклада УНЧ и ОНЧ волновых возмущений в рост потоков электронов до релятивистских энергий. (Стендовый доклад) // Abstracts of the 43nd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.30.
60. Белаховский, В.А. Пилипенко, Я.А. Сахаров, В.Н.Селиванов Вклад суббуревых возмущений в рост геомагнитно-индуцированных токов, регистрируемых в линиях электропередач // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43th Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. С.16 –Apatity: PGI RAS
61. Германенко А.В., Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин. Компактные счетчики ионизирующего излучения для верификации RUSCOSMICS // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
62. Демин В.И., Иванов Б.В. Восстановление длинных рядов температуры воздуха на архипелаге Шпицберген. (Стендовый доклад) // Abstracts of the 43nd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.66.
63. Демин В.И., Козелов Б.В. Фёновые эффекты в Баренцбурге (Шпицберген). (Стендовый доклад) // Abstracts of the 43nd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.67.
64. Ефимов Б.В., В.Н. Селиванов, Я.А. Сахаров, В.А. Билин Мониторинг воздействия электромагнитных сигналов природного происхождения на энергосистемы Кольского полуострова // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43th Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. С.17 –Apatity: PGI RAS
65. Иванов В.Е., Дашкевич Ж.В. О возможности использования ПЗС матриц с широким спектральным диапазоном в исследовании полярных сияний
66. Кириллов А.С., Белаховский В.Б. Исследование процессов образования электронно-возбужденных молекул N₂ и O₂ в атмосфере Земли во время высыпания высокоэнергичных электронов. (Устный доклад) // Abstracts of the 43nd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.67.
67. Козелов Б.В., Демин В.И. Влияние микроклимата на температуру искусственных поверхностей. // Abstracts of the 43nd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020. – Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.67.
68. Лосев А.В., Демин В.И., Козелов Б.В., Ролдугин А.В., Галкин А.А. Особенности стратосферной циркуляции зимой 2019/20 г. в поле температуры воздуха и озона. //

- Abstracts of the 43rd Annual Seminar “Physics of Auroral Phenomena” 10-13 March 2020.
– Polar Geophysical Institute, Apatity, 2020. - P.68.
69. Маурчев Е.А., Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский. Моделирование прохождения протонов СКЛ с энергетическим спектром для событий GLE42 и GLE44, // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
 70. Маурчев Е.А., Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, Б.Б. Гвоздевский. Расчет скорости ионизации во время события GLE с использованием глобальной модели атмосферы Земли // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
 71. Маурчев Е.А., Ю.В. Балабин, А.В. Германенко. Перспективы использования параллельных вычислений для ускорения расчетов скорости ионизации атмосферы Земли частицами космических лучей // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
 72. Маурчев Е.А., Ю.В. Балабин. Моделирование нуклон-нуклонных взаимодействий в атмосфере Земли для частиц космических лучей с $Z > 2$ // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
 73. Мерзлый, А.Б. Талалаев, Л.Г. Устименко, В.В. Тихонов, А.Т. Янаков, Я.А. Сахаров, И.В. Мингалев, З.В. Суворова. Организация радиотрасс Тверь - Ловозеро и Ловозеро - Земля Франца-Иосифа // Abstracts of the 43 rd Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 10-13 March, 2020. – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI, 2020. – P. 57. (0,03 а.л.)
 74. Мингалев, З.В. Суворова, А.М. Мерзлый, А.Б. Талалаев, В.В. Тихонов, А.Т. Янаков, В.С. Мингалев. Анализ зон засветки односкачковыми лучевыми траекториями для передатчиков в КВ-диапазоне и обеспечение радиосвязи в Арктическом регионе // Abstracts of the 43 rd Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 10-13 March, 2020. – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI, 2020. – P. 57-58. (0,03 а.л.)
 75. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, А.М. Мерзлый, В.С. Мингалев, О.В. Хабарова. Система уравнений Максвелла для плазмы в приближении квазинейтральности // Abstracts of the 43 rd Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 10-13 March, 2020. – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI, 2020. – P. 21-22. (0,05 а.л.)
 76. Мингалев, И.В. Мингалев, Х.В. Малова, П.В. Сецко, М.Н. Мельник, А.В. Артемьев, О.В. Хабарова, Л.М. Зелёный. Силовой баланс в токовых слоях в плазме из протонов и замагниченных электронов // Abstracts of the 43 rd Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 10-13 March, 2020. – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI, 2020. – P. 22. (0,03 а.л.)
 77. Мингалев, К.Г. Орлов, Е.А. Федотова. Учет нарушения локального термодинамического равновесия в верхней атмосфере Земли в колебательных полосах CO₂ в радиационном блоке модели общей циркуляции атмосферы Земли // Abstracts of the 43 rd Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 10-13 March, 2020. – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI, 2020. – P. 68. (0,03 а.л.)
 78. Михалко Е.А., Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин. Влияние углового распределения первичных космических лучей на положение максимума высотного профиля в

атмосфере Земли. // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.

79. Михалко Е.А., Ю.В. Балабин, Е.А. Маурчев, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский. Мобильный детектор для регистрации нейтронной компоненты // Abstract book of the 43rd Annual Seminar, 10–13 March 2020, Apatity.
80. Никитенко А.С., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Маннинен Ю., Клейменова Н.Г., Громова Л.И. Наблюдения аврорального хисса в пространственно разнесенных точках в высоких широтах и оценка эффективности возбуждения волновода Земля-ионосфера
81. Орлов, И.В. Мингалев, Е.А. Федотова, В.С. Мингалев. Результаты моделирования общей циркуляции атмосферы Земли для условий января с детальным учетом радиационного нагрева // Abstracts of the 43rd Annual Seminar on Physics of auroral phenomena, Apatity, 10-13 March, 2020. – Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI, 2020. – P. 59. (0,02 а.л.)
82. Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Федоренко Ю.В., Никитенко А.С., Филатов М.В., Лебедь О.М., Фролов И.Е., Козеллов Б.В. Наблюдения естественных СНЧ/ОНЧ излучений во время экспедиции “Трансарктика - 2019”
83. Сафаргалеев, В.Н. Митрофанов Триангуляционные измерения высоты локальных неоднородностей в авроральных дугах перед началом суббури // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43th Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. C.18 –Apatity: PGI RAS
84. Сотников Н.В., Антонова Е.Е., Овчинников И.Л., Воробьев В.Г., Ягодкина, Пулинец М.С., Знаткова С.С., Мить С.К., Казарян П.С. Связь формирования внешнего радиационного пояса во время геомагнитных бурь с адиабатическим механизмом падения и возрастания потоков релятивистских электронов // Physics of auroral phenomena: Abstracts of the 43rd Annual Seminar (10-13 March). –Preprint PGI 20-01-140. –Apatity: PGI KSC RAS. 2020. С. 19. (0.04 а.л.) – постер.
85. Шагимурастов И.И., Филатов М.В., Захаренкова И.Е., Ефишов И.И., Тепеницина Н.Ю. Проявления GPS-ТЕС флуктуаций и ошибок GPS позиционирования, обусловленные полярными сияниями во время аврорального возмущения 27 сентября 2019 года (стендовый)
86. Irina Despirak, Andris Lubchich, Natalia Kleimenova, Liudmila Gromova, Sergey Gromov, Liudmila Malysheva. Supersubstorms during two strong magnetic storms // Proceedings of VII International Conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety", Kaliningrad, Russia, 8-13 June, 2020. (<http://ais2020.ru:1818/AIS%202020%20Conference%20program.pdf>.)
87. Балабин, А.А. Луковникова, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, И.В. Янковский. Исследование событий множественности на высокогорном нейтронном мониторе // Тезисы 36-ой Всероссийской конференции по космическим лучам, 28 сентября - 2 октября 2020 г., Москва.
88. Балабин, А.В. Белов, Р.Т. Гущина, В.Г. Янке, И.В. Янковский. О вариациях потока космических лучей в конце 24-го цикла солнечной активности // Тезисы 36-ой Всероссийской конференции по космическим лучам, 28 сентября - 2 октября 2020 г., Москва.

89. Балабин. Поиск оптимальных точек размещения портативного нейтронного монитора // Тезисы 36-ой Всероссийской конференции по космическим лучам, 28 сентября - 2 октября 2020 г., Москва.
90. Маурчев, А.В. Германенко, Ю.В. Балабин. Расчет угловых характеристик вторичных частиц в атмосфере Земли при помощи программного комплекса RUSCOSMICS. // Тезисы 36-ой Всероссийской конференции по космическим лучам, 28 сентября - 2 октября 2020 г., Москва.
91. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский. Расчет прохождения СКЛ через атмосферу Земли для события GLE №69 // Тезисы 36-ой Всероссийской конференции по космическим лучам, 28 сентября - 2 октября 2020 г., Москва.
92. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко. Компактные счетчики заряженной компоненты как дополнительное средство верификации моделирования прохождения КЛ через атмосферу Земли. // Тезисы 36-ой Всероссийской конференции по космическим лучам, 28 сентября - 2 октября 2020 г., Москва.
93. Михалко, Ю.В. Балабин, Б.Б. Гвоздевский, Е.А. Маурчев, А.В. Германенко. Портативный детектор нейтронной компоненты космических лучей // Тезисы 36-ой Всероссийской конференции по космическим лучам, 28 сентября - 2 октября 2020 г., Москва.
94. Е. А. Маурчев, Ю. В. Балабин, Моделирование прохождения частиц из группы средних ядер галактических космических лучей через атмосферу Земли // «Фундаментальные и прикладные космические исследования» ИКИ РАН, Москва, Сборник тезисов докладов, С. 25, Москва, 2020.
95. Демин В.И., Иванов Б.В. Изменения климата на архипелаге Шпицберген по данным ГМО «Баренцбург» в 1911-2020 гг. // тезисы докладов XV Всерос. Научной конф. «Комплексные исследования природы Шпицбергена». Мурманск. ММБИ. 28-30 октября 2020 г. стр. 21-24
96. Иванов Б.В., Демин В.И., Ревина А.Д. Самый длинный ряд инструментальных метеорологических наблюдений на архипелаге Шпицберген // Тезисы докладов XV Всерос. Научной конф. «Комплексные исследования природы Шпицбергена». Мурманск. ММБИ. 28-30 октября 2020 г. стр.38-40.
97. Мингалёв, К.Г. Орлов, В.С. Мингалёв. Возможность предсказания зарождения полярных циклонов в атмосфере Арктической зоны // Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа», (28-30 октября 2020 г., г. Мурманск). – Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН. 2020. – С.70-72. (0,07а.л.)
98. Михалко Е.А., Германенко А.В., Маурчев Е.А., Гвоздевский Б.Б., Щур Л.И., Балабин Ю.В., Перспективный мобильный детектор космических лучей, Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции с международным участием. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Мурманский морской биологический институт Российской академии наук. 2020. С. 72-73.
99. Иванов Б.В., Демин В.И., Священников П.Н., Журавский Д.М. Результаты исследований изменений климата арх. Шпицберген по историческим и новейшим данным (Устный доклад) // «Глобальные проблемы Арктики и Антарктики: сборник

науч. материалов Всерос. конф. с междунар. участием, посвящен. 90-летию со дня рождения акад. Николая Павловича Лавёрова. Архангельск, 2 – 5 ноября 2020 г. стр. 112-114.

- 100.Белаховский В.Б. Вклад суббуравных высыпаний в полное электронное содержание ионосферы. // Программа 18-й Всероссийской открытой конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”, Москва, ИКИ РАН, 16-20 ноября 2020 г., XVIII.I.290.
- 101.Кириллов А.С. Исследование влияния триплетного молекулярного азота на синглетный молекулярный кислород в атмосфере Земли во время спрайтов. // Программа 18-й Всероссийской открытой конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”, Москва, ИКИ РАН, 16-20 ноября 2020 г., XVIII.D.307.
- 102.Кириллов А.С. Моделирование свечения полос Лаймана-Бирджа-Хопфилда в верхних атмосферах Титана и Земли. // Программа 18-й Всероссийской открытой конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”, Москва, ИКИ РАН, 16-20 ноября 2020 г., XVIII.P.346.
- 103.Кириллов А.С., Белаховский В.Б. Исследование кинетики синглетных и триплетных состояний молекулярного кислорода и молекулярного азота в атмосфере Земли во время высыпания высокоэнергичных частиц // Программа 18-й Всероссийской открытой конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”, Москва, ИКИ РАН, 16-20 ноября 2020 г., XVIII.D.310.

Статьи, отправленные в печать

8. Chinkin, A. Soloviev, V.Pilipenko, M.Engebretson, Ya. Sakharov Determination of vortex current structure in the high-latitude ionosphere with associated GIC bursts from ground magnetic data (Manuscript has been accepted for publication in Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Manuscript Number: JASTP-D-20-00282R1)
9. Hosokawa K., S.-I. Oyama, Y. Ogawa, Y. Miyoshi, S. Kurita, M. Teramoto, S. Nozawa, T. Kawabata, Y.Kawamura, Y.-M. Tanaka, H.Miyaoka, R. Kataoka, K. Shiokawa, U. Brändström, E. Turunen, T. Raita,C. Hall, D. Hampton, B. Kozelov, A. Demekov, Y. Ebihara, Y. Kasahara,S. Matsuda, I. Shinohara, and R. Fujii, A ground-based instrumentsuite for integrated high-time resolution measurements of pulsatingaurora with Arase // JGR, submitted 2020
10. Manninen J., Kleimenova N., Turunen T., Nikitenko A., Gromova L., Fedorenko Yu. New type of short VLF patches (“VLF birds”) above 4-5 kHz. Направлена в журнал «Journal of Geophysical Research: Space Physics».
11. Namekawa T., Mitani T., Asamura K., Miyoshi Y., Hosokawa K., Ogawa Y., Saito S., Sugo S., Kawashima O., Kasahara S., Nomura R., Yagi N., Fukizawa M., Sakanoi T., Saito Y., Fedorenko Y., Nikitenko A., Koehler C. Rocket Observation of sub-relativistic electrons in the quiet dayside auroral ionosphere. Направлена в журнал «Journal of Geophysical Research: Space Physics».
12. Oyama S., A. Shinbori, Y. Ogawa, M. Kellinsalmi, T. Raita, A. Aikio, H. Vanhamäki, K. Shiokawa, I. Virtanen, L. Cai, A. B. Workayehu, M. Pedersen, K. Kauristie, T. T. Tsuda, B.

- Kozelov, A. Demekhov, A. Yahnin, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, Y. Kasahara, A. Matsuoka, M. Shoji, M. Teramoto, M. Lester (2020). An ephemeral red arc appeared at 68° MLat at a pseudo breakup during geomagnetically quiet conditions. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, e2020JA028468. <https://doi.org/10.1029/2020JA028468>
13. Sugo S., Kawashima O., Kasahara S., Asamura K., Nomura R., Miyoshi Y., Ogawa Y., Hosokawa K., Mitani T., Namekawa T., Sakanoi T., Fukizawa M., Yagi N., Fedorenko Y., Nikitenko A., Yokota S., Keika K., Hori T. Energy-resolved detection of precipitating electrons of 30–100 keV by a sounding rocket associated with dayside chorus waves. Направлена в журнал «*Journal of Geophysical Research: Space Physics*».
 14. Балабин, А.А. Луковникова, Б.Б. Гвоздевский, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, И.В. Янковский. Исследование событий множественности на высокогорном нейтронном мониторе. // Подано в печать, Изв.РАН.
 15. Балабин, А.В. Белов, Р.Т. Гущина, В.Г. Янке, И.В. Янковский. О вариациях потока космических лучей в конце 24-го цикла солнечной активности. Подано в печать, Изв.РАН
 16. Балабин. Поиск оптимальных точек размещения портативного нейтронного монитора. // Подано в печать, Изв.РАН.
 17. Бархатов Н.А., В.Г. Воробьев, С.Е. Ревунов, Е.А. Ревунова Исследование статистической связи корональных выбросов массы с солнечными вспышками // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (в печати).
 18. Бархатова О.М., В.Г. Воробьев, Н.А. Бархатов, С.Е. Ревунов УНЧ возмущения, вызванные турбулентной оболочкой межпланетных магнитных облаков // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (в печати).
 19. Воробьев В.Г., О.И. Ягодкина, Е.Е. Антонова Давление ионов в области высыпаний дневного низкоширотного граничного слоя // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (в печати).
 20. Дашкевич Ж.В., Иванов В.Е., Козелов Б.В. Исследование лучистых структур полярных сияний триангуляционными методами: 2. Энергетические спектры авроральных электронов. Направлена в журнал «*Космические исследования*».
 21. Дэспирак И.В., А.А. Любич, Н.Г. Клейменова, Л.И. Громова, С.В. Громов, Л.М. Малышева Долготные геомагнитные эффекты суперсуббурь во время магнитной бури 9 марта 2012 г. // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (в печати).
 22. Любич В.А. Исследование строения литосферы высокоширотных районов Западно-Арктической континентальной окраины по результатам эксперимента FENICS-2019 // принята к печати в журнале «*Известия РАН. Серия физическая*» (0,44 а.л.)
 23. Маурчев, Ю. В. Балабин, А. В. Германенко, Б. Б. Гвоздевский, Моделирование прохождения протонов СКЛ через атмосферу Земли для событий GLE42 и GLE44, Изв. РАН. сер. Физ., 2020 г., подано в печать.
 24. Маурчев, Ю. В. Балабин, А. В. Германенко, Е. А. Михалко, Б. Б. Гвоздевский, Расчет скорости ионизации во время события GLE с использованием глобальной модели атмосферы Земли и оценка вклада в этот процесс частиц галактических космических лучей с $Z > 2$, Изв. РАН. сер. Физ., 2020 г., подано в печать.

25. Маурчев, Ю. В. Балабин, А. В. Германенко, Компактные счетчики заряженной компоненты как дополнительное средство верификации моделирования прохождения КЛ через атмосферу Земли, Изв. РАН. сер. Физ., 2020 г., подано в печать.
26. Никитенко А.С., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В., Маннинен Ю., Клейменова Н.Г., Громова Л.И. Оценка положения и размера области рассеяния аврорального хисса по данным высокоширотных наблюдений в пространственно-разнесенных точках. Направлена в журнал «Известия РАН. Серия физическая».
27. Подгорный, И.М. Подгорный, А.В. Борисенко, Э.В. Вашенюк, Ю.В. Балабин, Н.С. Мешалкина, Б.Б. Гвоздевский. Изучение механизма ускорения космических лучей во время солнечных вспышек электрическим полем в токовом слое солнечной короны // Подано в печать, Изв.РАН.
28. Попова Т.А., А.Г. Демехов, А.Г. Яхнин Протонные высыпания и электромагнитные ионно-циклотронные волны, обусловленные суббуревой инжекцией // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (в печати).
29. Ролдугин В.К., Ролдугин А.В. Протонная дуга малой интенсивности в субавроральной зоне во время пульсаций Pc1. Направлена в журнал «Геомагнетизм и аэрономия».
30. Романова Н.Ю., Телегин В.А., Панченко В.А. Жбанков Г.Н. Дрейф, как причина ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области ионосферы над московским регионом // Геомагнетизм и аэрономия
31. Романова Р.Ю. Влияние горизонтального ветра на ориентацию поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы (по данным г. Москва) // принята к печати в журнале «Известия РАН. Серия физическая».
32. Сахаров, Н.В. Ягова, В.А. Пилипенко, Геомагнитные пульсации Pc5/Pi3 и геоиндуцированные токи // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (подано в печать).
33. Селиванов, А.Я. Сахаров, Влияние геоиндуктированных токов на содержание гармоник в силовых трансформаторах // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (подано в печать).
34. Сотников Н.В., Е.Е. Антонова, И.Л. Овчинников, В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина, М.С. Пулинец Формирование внешнего радиационного пояса во время геомагнитных бурь и адиабатический механизм падения и возрастания потоков релятивистских электронов // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (в печати).
35. Телегин В.А., Романова Н.Ю., Легкий Н.М. Наблюдение мелкомасштабных неоднородностей с разными параметрами анизотропии в F-области среднеширотной ионосферы // Радиотехника и электроника.
36. Черняков С.М., Турянский В.А. Использование метода частичных отражений для определения мезосферной температуры // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (в печати).
37. Шагимурастов И. И., Филатов М.В., Ефишов И.И., Захаренкова И.Е., Тепеницына Н.Ю. GPS-ТЕС флуктуации и ошибки GPS позиционирования, обусловленные полярными сияниями во время аврорального возмущения 27 сентября 2019 года. Направлена в журнал «Известия Российской академии наук. Серия физическая».

38. Яхнина Т.А., А.Г. Яхнин, Т.Райта, Ю. Маннинен, Дж. Голдстейн Локализация источников геомагнитных пульсаций Pc1 // Известия РАН. Серия физическая. 2021 (в печати).

Монографии и сборники

1. Mingalev, K.G.Orlov, V.S. Mingalev. Numerical Modeling of the Global Circulation of the Earth's Middle Atmosphere for Different External Conditions // Chapter 1 of the Book “International Research in Environment, Geography and Earth Science”, Vol.1, 24 p. – London: Book Publisher International, SCIENCEDOMAIN international. 2020. (1,4 а.л.)
2. Mingalev, K.G.Orlov, V.S. Mingalev. Numerical Modeling of the Transformation of Global Gas Flows in the Earth's Atmosphere over the Course of a Year: Global Perspective // Chapter of the Book “International Research in Environment, Geography and Earth Science”, Vol.3, 24 p. – London: Book Publisher International, SCIENCEDOMAIN international. 2020. (1,4 а.л.)
3. Lubchich V.A., Grigorev V.F. Application of the two-frequency radioholographic method for determinating the location of geoelectric inhomogeneities in the Earth's crust // Chapter 4 in the book: “The Study of Continental Lithosphere Electrical Conductivity, Temperature and Rheology”. Editors: ZhamaletdinovAbdulkhay A., Rebetsky Yury L. Springer International Publishing. (eBook ISBN: 978-3-030-35906-5, DOI: 10.1007/978-3-030-35906-5_5, Hardcover ISBN: 978-3-030-35905-8, Series ISSN: 2524-342X). — 2020. — P. 27-33. (0,46 а.л.)
4. Система Баренцева моря / Под ред. академика А.П. Лисицына. – М.: ГЕОС, 2021. ISBN 978-5-6045110-0-8. (Э.В. Шипилов, С.И. Шкарубо ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ. Тектоника баренцевоморской континентальной окраины. С. 11-25.) //Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Мурманск, Морская арктическая геологоразведочная экспедиция, Мурманск, DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(5)