

## СЕКТОР ПОЛЯРНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМИРАН

*А. Н. Зайцев, А. С. Амиантов, В. И. Одинцов*

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

Приведён краткий обзор основных результатов экспериментальных работ Сектора полярных геофизических исследований ИЗМИРАН за прошедшие 25 лет. Основным направлением работ было изучение пространственно-временной структуры поля геомагнитных возмущений в высоких широтах и их связи с процессами в магнитосфере Земли и в солнечном ветре. Важным инструментом исследований стало освоение информационно-коммуникационных технологий, создание приборов и систем для регистрации, сбора, обработки и анализа геомагнитных возмущений в высоких широтах. Полученные результаты служат основой развития исследований в будущем.

*Ключевые слова:* полярные геомагнитные возмущения, токовые системы, базы данных, цифровые магнитометры, магнитосфера.

Полярные исследования всегда были одним из важных научных направлений в ИЗМИРАН. В этой области работали такие известные учёные как Н. В. Пушков, Н. П. Бенькова, С. М. Мансуров, Н. Д. Медведев и многие другие, которые внесли основополагающий вклад в развитие полярных исследований. В 1960-е гг. сеть филиалов ИЗМИРАН в полярных широтах и в Сибири послужила основой формирования сети новых институтов — Полярный геофизический институт Кольского научного центра Российской академии наук (ПГИ КНЦ РАН), Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН), Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю. Г. Шафера СО РАН (ИКФИА СО РАН), Институт космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИКИР ДВО РАН) и др. В настоящее время в ИЗМИРАН действует сектор полярных геофизических исследований ([www.izmiran.ru/stp/polar](http://www.izmiran.ru/stp/polar)). Основным направлением работ сектора являются экспериментальные исследования структуры и динамики магнитосферных токовых систем по наземным данным. К числу задач, решаемых сектором, относятся:

- создание и развитие экспериментальной базы для регистрации, сбора, обработки и анализа геомагнитных возмущений в высоких широтах в рамках существующих координированных программ,
- изучение пространственно-временной структуры поля геомагнитных возмущений,
- изучение связи геомагнитных возмущений с процессами в магнитосфере Земли и в солнечном ветре.

---

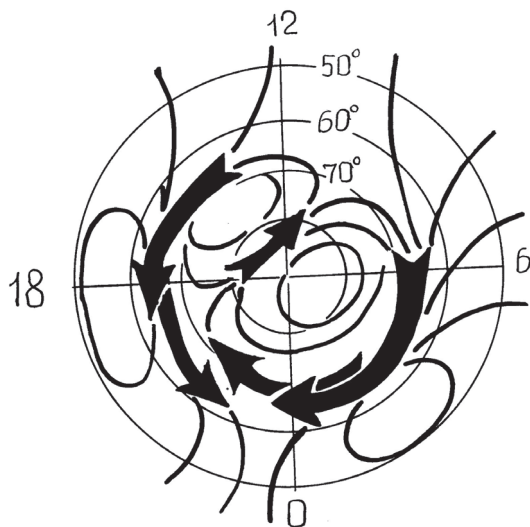
**Зайцев** Александр Николаевич — заведующий сектором, доктор физико-математических наук, [zaitsev@izmiran.ru](mailto:zaitsev@izmiran.ru)

**Амиантов** Александр Сергеевич — научный сотрудник, [amiantov@izmiran.ru](mailto:amiantov@izmiran.ru)

**Одинцов** Владимир Иванович — старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, [vodin@izmiran.ru](mailto:vodin@izmiran.ru)

Исторически одной из первых в ИЗМИРАН успешных попыток получения геомагнитных данных в цифровом виде была разработка платформы сбора данных для обеспечения советско-американского эксперимента по передаче геомагнитных данных через геостационарный спутник ATS-6 (Applications Technology Satellite) в 1975 г. В 1970-е гг. были проведены испытания различных конструкций цифровых станций, и была показана перспективность разработок на базе кварцевых вариометров. На основе накопленного опыта в 1980 г. была разработана цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-2, которая де-факто стала стандартом для магнитных обсерваторий СССР. До настоящего времени некоторые из них находятся в рабочем состоянии. В 2000 г. проведена работа по модернизации электроники станции ЦМВС-2, которая позволяет сохранить и обеспечить её дальнейшую эксплуатацию. Начиная с первых экспериментальных работ по цифровой регистрации в 1980-е гг., в секторе формировался архив одноминутных данных на различных электронно-вычислительных машинах (ЭВМ) — от СМ-4 до IBM/PC (Personal Computer — персональный компьютер производства фирмы IBM). В 1995 г. эти данные были записаны на компакт-диск CD-ROM (Compact Disc Read-Only Memory), а затем размещены в сети на сервере [www.cosmos.ru/magbase](http://www.cosmos.ru/magbase). В настоящее время эта база данных пополняется текущими данными, доступными в ИЗМИРАН.

Исследование вариаций магнитного поля за период МГГ и в последующие годы позволило установить общие представления в большом разнообразии наблюдаемых явлений, и в тоже время выделить ключевые элементы в динамике токовых систем в зоне полярных сияний [Зайцев, 1989]. На рис. 1 представлена схема эквивалентной токовой системы полярной суббури, построенная на основе анализа многих случаев полярных геомагнитных возмущений, выбранных для работы по программе CDAW (Coordinated Data Analysis Workshop).



**Рис. 1.** Обобщённая схема эквивалентной токовой системы полярной суббури по наземным данным

Схема характеризуется наличием токовых электроструй двух типов: конвективные и взрывные. Положение электроструй в пространстве существенно различается: электроструи, текущие на запад, формируются примерно вдоль овала полярных сияний, электроструи восточного направления занимают вечерний сектор на экваториальной стороне овала полярных сияний. Кроме авроральных электроструй имеются токи в полярной шапке, обладающие большой изменчивостью и отражающие эффект прямого воздействия плазмы солнечного ветра, проникающей до высот ионосферы. Предложенная схема стала общепринятой при описании динамики развития магнитосферной суббури и при выборе моделей, отражающих основные процессы внутри магнитосферы в периоды развития возмущений — конвекции и других плазменных неустойчивостей.

При построении токовых систем за основу обычно берутся морфологические особенности горизонтальной вариации  $H$ -компоненты по магнитограммам тех наземных обсерваторий, где влияние электроструй можно выявить визуально. Для более детального анализа положения токовых систем относительно обсерваторий в разные моменты времени был предложен и детально отработан метод построения LT-UT-диаграмм [Зайцев и др., 1986]. Пример LT-UT-диаграммы для случая магнитной бури 24 марта 1991 г. показан на рис. 2. Анализ диаграмм позволяет выявить суббури, контролируемые местным или мировым временем, описать характер взаимодействия электроструй (разрыв Харанга), установить положение максимумов электроструй по долготе, описать структуру самих электроструй.

Для исследования спектральных характеристик возмущений В. И. Одинцовым разработан и широко применяется метод узкополосной адаптивной фильтрации, основанный на выделении гармонических составляющих из исходного сигнала с помощью «гребёнки» режекторных фильтров [Зайцев и др., 1999]. По сравнению с традиционным СВАН такой метод позволяет произвольно выбирать значения частот (периодов) выделяемых гармонических составляющих и тем самым повысить разрешающую способность спектрально-временного анализа. Фильтры обладают очень высокой добротностью, поэтому удаётся разделять близкие по периодам гармоники.

Пример динамических спектров представлен на рис. 3 для магнитной бури 24 марта 1991 г. для обсерваторий BRW, СМО, SOD и LER по  $H$ -компоненте в диапазоне 10...50 мин за интервал времени 03–09 UT (Universal Time — всемирное время). Такие спектры позволяют уточнить характер колебаний, возникающих в восточной и западной электроструях. На основе анализа спектрально-временных характеристик системы эквивалентных токов показано, что в период большой магнитной бури восточная и западная электроструи остаются независимыми элементами токовой системы со своими характерными периодами колебаний в диапазоне 16...24 мин для восточной струи и 27...40 мин — для западной.

Наземные данные в сочетании с прямыми измерениями в космосе дают возможность проследить весь процесс влияния солнечного ветра на развитие магнитосферных возмущений. От измерений на одиночных спутниках в 1990-е гг. наметился переход на многоспутниковые «флотилии» в космосе. Пример такого успешного проекта — ИНТЕРБОЛ.

В работе [Зайцев и др., 2002] рассмотрена связь возмущений в солнечном ветре по измерениям на спутниках «ИНТЕРБОЛ» и по наземным геомагнитным обсерваториям. Было подтверждено, что основным источником возмущений в магнитосфере в период магнитных бурь являются изменения давления солнечного ветра. В последующих многоспутниковых проектах КЛАСТЕР (CLUSTER) и ТЕМИС (THEMIS — Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms) эти результаты также нашли подтверждение и по-прежнему базовым элементом исследований являются наземные данные полярных геофизических обсерваторий.

LT-UT диаграмма Н-компоненты 24 марта 1991.  
(12 обсерваторий, 6-мин. усреднение)

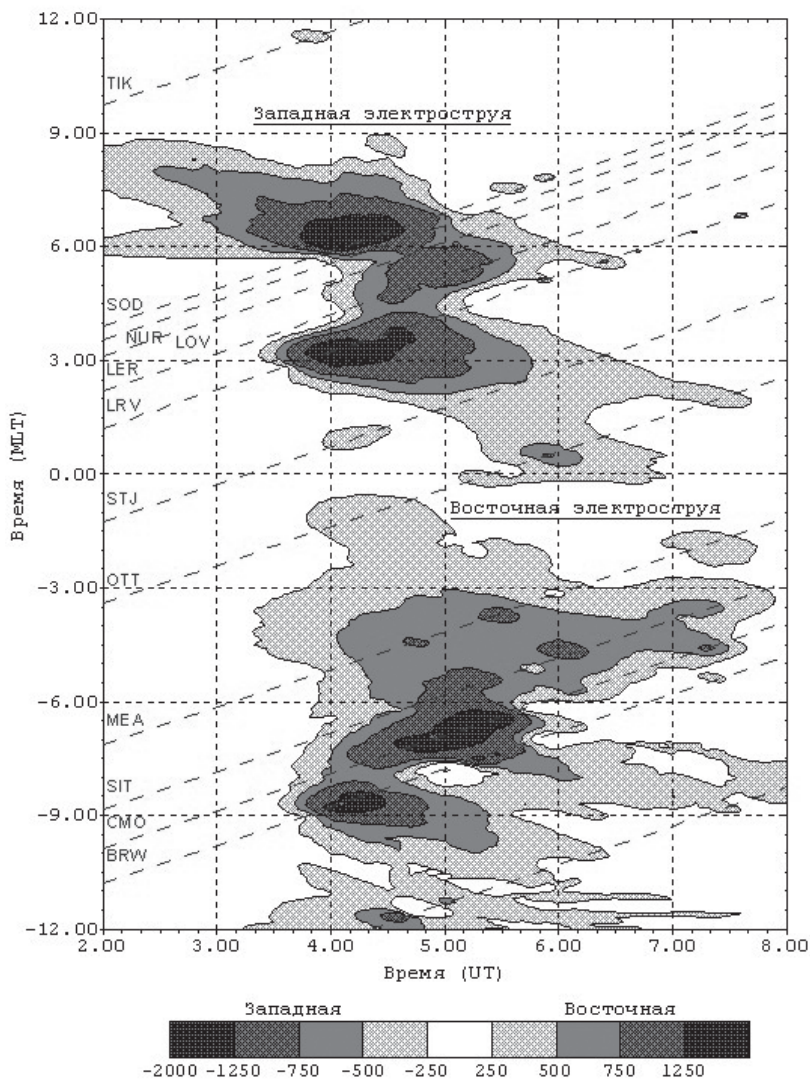
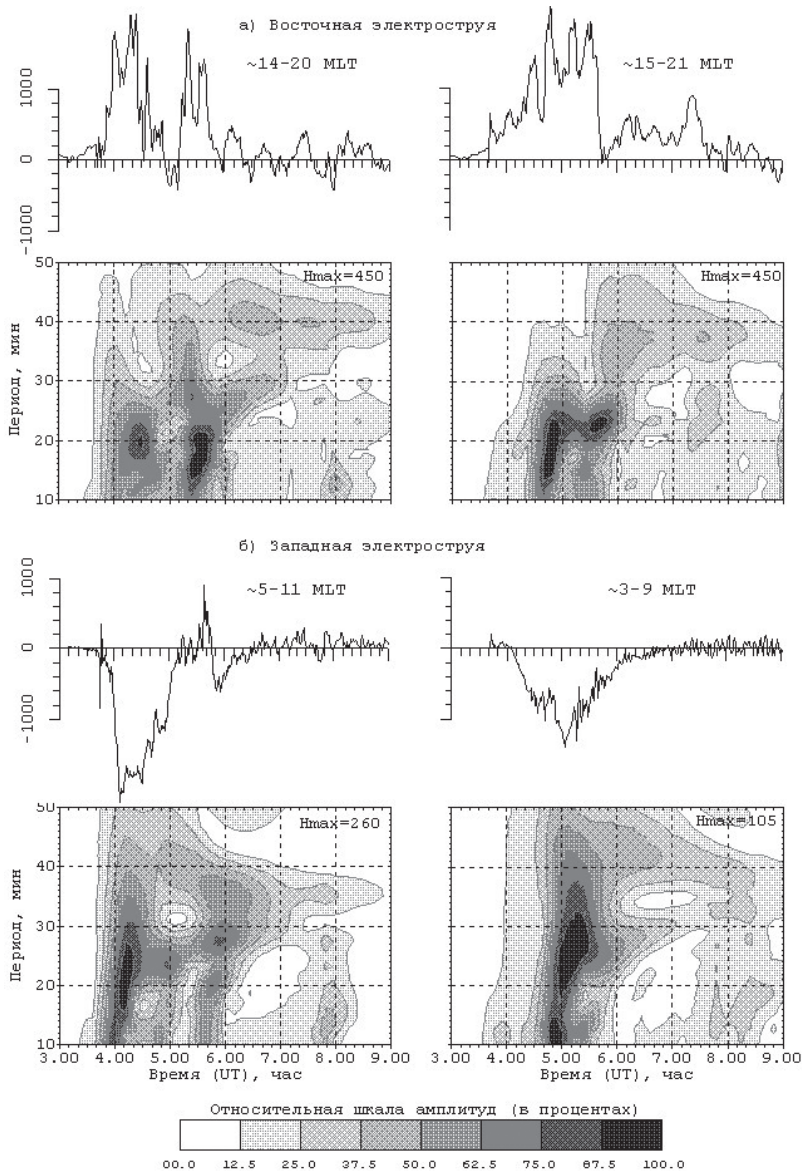


Рис. 2. Пример построения LT-UT диаграммы



**Рис. 3.** Пример построения динамических спектров магнитных возмущений для магнитной бури 24 марта 1991 г.

После развала СССР в 1991 г. рухнула сеть геофизических наблюдений и только недавно приняты меры по частичному восстановлению сети. В предстоящие 2015–2020 гг. в планах работ по сектору полярных геофизических исследований стоит работа по восстановлению наблюдений на Ямале, где активно ведутся работы по разведке и эксплуатации природных ресурсов, в первую очередь нефти и газа. При этом имеется практическая потребность в магнитно-вариационных данных по региону Ямала, а также запросы о состоянии электромагнитного поля Земли в формате «косми-



ческой погоды». Нами предложен проект по созданию справочно-информационной системы «Полярная геофизика Ямала» [Салихов и др., 2010]. Этот проект поддержан Правительством Ямала, и в нём принимают участие Государственный научный центр «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ГЦ АНИИ), Институт прикладной геофизики им. академика Е. К. Фёдорова (ИПГ), Геофизический центр Российской академии наук (ГЦ РАН), Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), ИЗМИРАН.

Большое внимание в работе Сектора уделяется освоению и использованию Интернета. База данных по цифровым магнитометрам за период 1983–2000 гг. была собрана на CD-ROM, и затем загружена в Интернет. В настоящее время эта база доступна пользователям непосредственно с сайта ИКИ РАН ([www.cosmos.ru/database/](http://www.cosmos.ru/database/)), либо через пакет прикладных программ MATLAB (Matrix Laboratory) Web Server (<http://matlab.izmiran.ru/magdata/>), адаптированный для обработки геомагнитных данных непосредственно на стороне сервера и передачи пользователю не самих данных, а результатов их обработки. Этот сервис позволяет вести работу с магнитными данными в интерактивном режиме, как из базы данных, так и в реальном времени, и уже используется многими специалистами.

Кроме экспериментальных работ с магнитометрами в секторе ведётся разработка специальных радиоприёмников для непрерывного измерения уровня поглощения космического радишума в слое D ионосферы Земли — риометров (RIOMETER — Relative Ionospheric Opacity meter). В течение 2000–2006 гг. было изготовлено 16 риометров по схеме Х. Чиверса, которые были установлены по заявке отдела геофизики АНИИ на полярных обсерваториях в Арктике и Антарктике. Разработан проект создания цепочки сканирующих риометров на Ямале на основе опыта экспедиционных работ 1989–1991 гг.

## ЛИТЕРАТУРА

- [Зайцев, 1989] *Зайцев А. Н.* Исследования в Арктике и Антарктике // Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли: сб. тр. ИЗМИРАН. М.: Наука, 1989. С. 315–327.
- [Зайцев и др., 1986] *Зайцев А. Н., Папиташвили В. О., Попов В. А.* Планетарные особенности развития авроральных электроструй по МЛТ-УТ диаграммам АЕ-индекса // Геомагнетизм и аэрономия. 1986. Т. 26. № 1. С. 156–158.
- [Зайцев и др., 1999] *Зайцев А. Н., Одинцов В. И., Иванов В. В.* Спектральные особенности восточной и западной электроструй в период магнитной бури 24 марта 1991 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 1999. Т. 39. № 1. С. 35–41.
- [Зайцев и др., 2002] *Зайцев А. Н., Далин П. А., Застенкер Г. Н.* Резкие вариации потока ионов солнечного ветра и их отклик в возмущениях магнитного поля Земли // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т. 42. № 6. С. 752–759.
- [Салихов и др., 2010] *Салихов З. С., Арабский А. К., Кузнецов В. Д., Зайцев А. Н., Петров В. Г., Фомичев В. В., Трошичев О. А., Янжура А. С.* Система контроля космической погоды для оценки технологических рисков на территории полуострова Ямал // Наука и техника в газовой промышленности. 2010. № 4. С. 39–47.

## THE SECTOR OF POLAR GEOPHYSICAL RESEARCH OF IZMIRAN

*A. N. Zaitsev, A. S. Amiantov, V. I. Odintsov*

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation  
of Russian Academy of Sciences (IZMIRAN)

The paper summarize the basic results of experimental work conducted in the Sector of Polar Geophysical Research of IZMIRAN at past 25 years. The main direction of research was the study of spatial and temporal structure of the geomagnetic disturbances in high latitudes and its connection with the processes in magnetosphere and in solar wind. We accept the usage of information technologies with personal computers as well as the systems to record and to process the data in the real time. The results obtained at nowadays will serve as the base for future research.

*Keywords:* Polar geomagnetic disturbances, current systems, data bases, digital magnetometers, magnetosphere.

---

**Zaitsev** Alexander Nikolaevich — head of division, doctor of physical and mathematical sciences, zaitsev@izmiran.ru

**Amiantov** Alexander Sergeevich — research associate, amiantov@izmiran.ru

**Odintsov** Vladimir Ivanovich — seniour scientist, PhD, vodin@izmiran.ru