

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В АНТАРКТИДЕ

Магнитное поле Земли, взаимодействуя с потоком заряженных частиц, непрерывно испускаемым Солнцем, — солнечным ветром, создает вокруг Земли надежный щит, который не дает частицам солнечного ветра достигнуть поверхности нашей планеты и уничтожить все живое. Этот щит называется магнитосфера Земли.

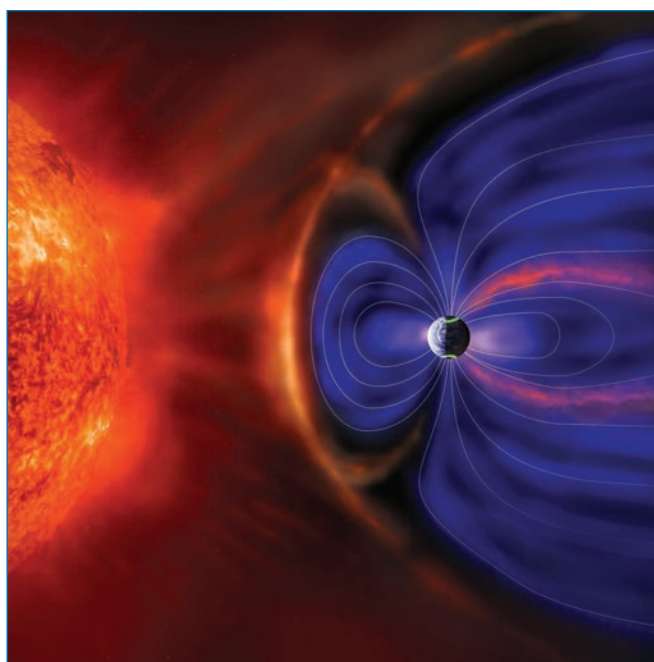
Заряженные частицы, попавшие во внутренние области магнитосферы, двигаются вдоль силовых линий магнитного поля к Земле, где, проникая в атмосферу, создают повышенную ионизацию на разных высотах, определяемых энергией частиц. Наиболее удаленные области магнитосферы связаны силовыми линиями магнитного поля с высокоширотными областями Зем-

ли. В Арктике эти области заняты преимущественно водами Северного Ледовитого океана, где проводить непрерывные наблюдения можно только на островах или дрейфующих станциях. Поэтому Антарктида является идеальным местом для полярных геофизических исследований.

Область верхней атмосферы от высоты больше 60 км содержит большое количество заряженных частиц и называется ионосферой. В полярной ионосфере как в зеркале отражаются процессы, происходящие в удаленных областях магнитосферы, при этом частицы (преимущественно электроны и протоны) различных энергий проникают на разные высоты. Так, наиболее

энергичные электроны с энергией больше 10 кэВ проникают до высоты 100 км и ниже, вызывая аномальную ионизацию, которая поглощает короткие радиоволны. Эти возмущения регистрируются с помощью специального приемника — риометра (riometer — Relative Ionospheric Opacity Meter). Электроны с меньшей энергией являются источником аномальной ионизации на высотах больше 100–120 км, области, где наблюдаются полярные сияния и текут токи, вызывающие полярные магнитные возмущения. Для регистрации этих возмущений используются наземные магнитные станции, камеры для наблюдения полярных сияний и ионозонды.

13 февраля 1956 года была открыта первая советская станция в Антарктиде — обсерватория Мирный (66° 33' ю.ш. 93° 01' в.д.). В период работы 1-й Комплексной антарктической экспедиции (КАЭ) в обсерватории Мирный были начаты непрерывные наблюдения магнитного поля, интенсивности космического радиоизлучения риометрическим методом и вертикальное зондирование ионосферы. Эти наблюдения выполняли нач. геофизического отряда П.К. Сенько, М.М. Погребников, Г.В. Букин. А.Д. Сытинский организовал сейсмическую станцию. Участником 2-й КАЭ был Михаил Иванович Пудовкин, впоследствии известный ученый, профессор



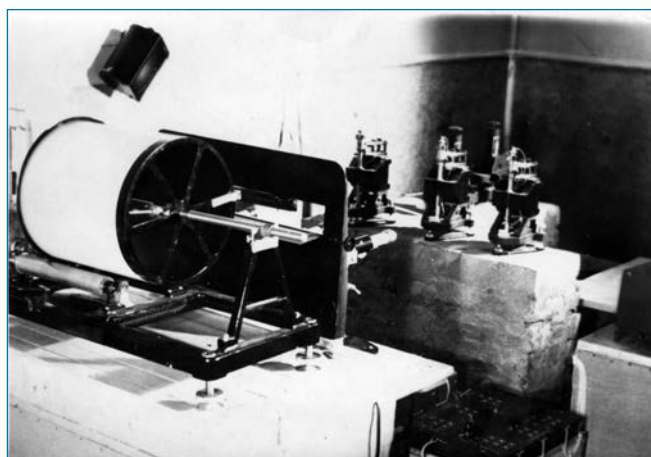
Магнитосфера Земли

профессор, известный специалист в области исследований высокоширотной ионосферы и магнитосферы.

В 1957–1958 годах проводился 1-й Международный геофизический год (МГГ). В рамках международных обязательств Советский Союз должен был открыть станцию на Южном магнитном полюсе. Начиная с этого момента геофизические исследования стали неотъемлемой частью всех антарктических программ.

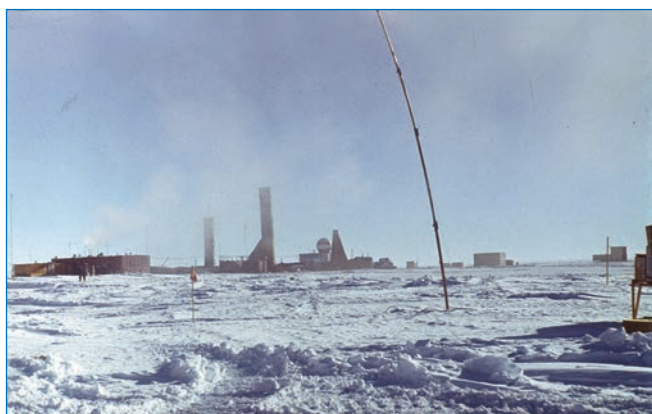
16 декабря 1957 года в районе Южного геомагнитного полюса была открыта станция Восток (78° 28' ю.ш. 106° 48' в.д., геомагнитные координаты 83.8 ю.ш., 55.7 в.д.).

С первых дней работы станции здесь были начаты наблюдения вариаций магнитного поля,



1-я КАЭ. Сейсмостанция в Мирном. Гальванометры, осветители, регистратор. Фото из архива Н.П. Сенько

Станция Восток в 1979 году (слева) и в 2012 году (справа). Фото автора





Общий вид обсерватории Мирный (слева) и магнитный павильон 3 (справа).  
Фото автора

вертикальное зондирование ионосферы, фотографические наблюдения полярных сияний. Станция Восток представляет особый интерес для геофизических исследований, так как она находится вблизи геомагнитного полюса и силовые линии магнитного поля распространяются далеко в «хвост» магнитосферы. Благодаря ее уникальному местоположению, на ст. Восток можно исследовать процессы, происходящие на очень большом расстоянии от Земли. Именно по данным магнитных наблюдений на ст. Восток в АНИИ был разработан РС-индекс, позволяющий в реальном времени оценивать планетарную магнитную активность и межпланетное электрическое поле.

В течение последующих лет в Антарктиде были открыты станции Новолазаревская (1961), Молодежная (1963), Беллинсгаузен (1968), Ленинградская (1971), Русская (1980), Прогресс (1988). К сожалению, в последние годы в связи с проблемами финансирования часть станций была законсервирована.

В настоящее время геофизические наблюдения проводятся на следующих действующих станциях.

Обсерватория Мирный — наблюдения магнитного поля, риометрические наблюдения поглощения космического радиоизлучения в нижней ионосфере, вертикальное зондирование ионосферы (временно прекращено в 2018 году из-за поломки оборудования), мониторинг галактических космических лучей.

На станции Прогресс проводятся магнитные и риометрические наблюдения, а на Новолазаревской — магнитные наблюдения, риометрические наблюдения, регистрация космофизических полей неэлектромагнитной природы, спектральные наблюдения солнечной УФ-радиации.

На ст. Восток кроме стандартного набора мониторинговых наблюдений (магнитные и риометрические) с 1998 года в рамках российско-австралийского проекта

ведется непрерывная регистрация вариаций приземного электрического поля.

Глобальная атмосферно-электрическая цепь определяет в атмосфере баланс электрических токов, условия поддержания электрического поля, а также структуру электрических полей и токов. Согласно современным представлениям, основным источником электрического поля в атмосфере являются грозовые облака. В полярных районах существенный вклад вносят электрические поля ионосферы, возникающие в результате взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли.

Электрическое поле атмосферы очень изменчиво. Напряженность вертикальной компоненты поля (которая обычно много больше горизонтальной) достигает нескольких кВ/м при осадках, поземках и грозовой облачности. Поэтому для выделения глобальных вариаций вводится понятие условий «хорошей погоды». В этих условиях вблизи поверхности Земли существует электрическое поле напряженностью около 150 В/м, вдоль которого в слабо проводящем воздухе течет электрический ток с плотностью несколько пА/м<sup>2</sup>. Это поле меняется во времени и пространстве, причем колебания относительно среднего значения могут составлять от единиц до десятков процентов. Измерения электрического поля, тока и проводимости в условиях «хорошей погоды» служат мощным средством изучения электрического состояния атмосферы. Глобальная атмосферная электрическая цепь также начинает признаваться некоторыми исследователями в качестве полезного инструмента, с помощью которого можно изучать изменение климата Земли.

Антарктическое плато в районе ст. Восток является идеальным местом для проведения исследований глобальной атмосферно-электрической цепи. Здесь не бывает низкой облачности, сильных ветров, очень редки осадки, отсутствуют антропогенные воздействия. Ус-

Общий вид станции Прогресс (красный балок — магнитный павильон).  
Фото автора



Общий вид станции Новолазаревская.  
Фото автора



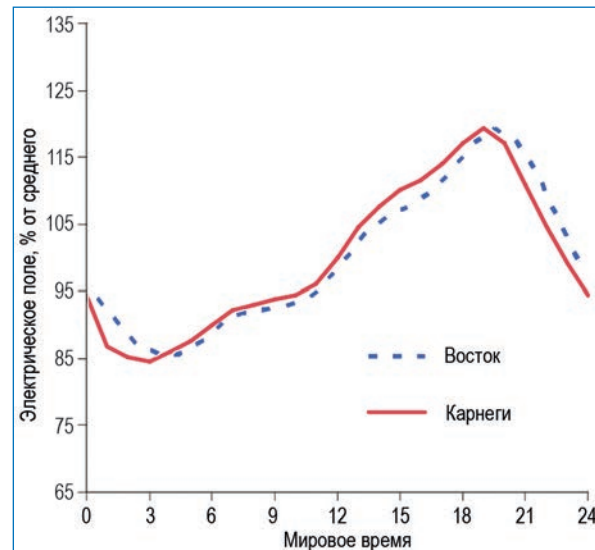


Датчик (вращающийся диполь)  
для измерения атмосферного электрического поля на станции Восток.  
Фото автора

ловия «хорошей погоды» наблюдаются здесь более чем в 50 % времени от общего времени наблюдений.

В результате этих исследований впервые по данным материковых наблюдений получена классическая кривая суточного хода величины приземного электрического поля (кривая Карнеги).

Доказана тесная связь величины вариаций электрического поля с магнитным полем солнечного ветра и величиной электрического потенциала ионосферы над точкой наблюдения. Показана связь вариаций приземного электрического поля с вариациями атмосферного



Суточный ход нормированных на среднее значение величины электрического поля на станции Восток и кривая Карнеги (Journal of the Atmospheric Science 2012. DOI: 10.1175/JAS-D-11-0212.1)

давления. Полный атмосферно-электрический комплекс, позволяющий одновременно измерять электрическое поле и проводимость воздуха, позволит значительно глубже изучить природу атмосферного электричества, понять роль глобальной электрической цепи в формировании климата Земли.

Все материалы, получаемые на антарктических станциях, хранятся в Фондах ААНИИ и на сервере отдела геофизики.

*А.В. Франк-Каменецкий (ААНИИ)*