

# М.В.Ломоносов и экспериментальные исследования авроральных явлений в НИИЯФ МГУ

В.И.Тулупов  
НИИЯФ МГУ



**С самого начала надо  
остерегаться ошибок в  
самых основных  
положениях, иначе,  
блуждая по всему  
физическому учению,  
мы неизбежно  
уклонимся далеко в  
сторону**

**(М.В.Ломоносов, Заметки к  
«Системе всей физики»,  
Третий том Полного собрания  
сочинений)**

## М.В.Ломоносов и северные сияния

Северные сияния интересовали М.В.Ломоносова с юных лет его жизни. Научные наблюдения над ними он стал систематически проводить в 1743 г. Ломоносов был первым, который высказал правильную гипотезу об электрической природе полярных сияний. Об этом он писал в 1753 г. в своем произведении **«Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих»**: весьма вероятно, что северные сияния рождаются от происшедшей на воздухе электрической силы. ...; электрическая сила, рождающая северное сияние, около верхней части средней атмосферы возбуждается.

Ломоносов первым провел опыт по свечению разреженных газов в электрическом поле. Для этого в стеклянном шаре с электродами он создавал разрежение, имитируя верхние слои атмосферы.

При включении электрического поля газ начинал светиться, напоминая полярные сияния. Возбужденная электрическая сила в шаре, из которого воздух вытянут, внезапно лучи испускает, которые во мгновение ока исчезают и в то же почти время новые на их места выскакивают, так что бесперерывное блистание быть кажется. В северном сиянии всполохи или лучи хотя не так скоропостижно происходят по мере пространства всего сияния, однако вид подобный имеют.

В 1764 г. М.В.Ломоносов приступил к написанию большого труда, посвященного исследованию северных сияний и связанной с ними теории атмосферного электричества под названием **«Испытание причины северного сияния и других подобных явлений»**. Рукописи этого труда не сохранилось. Сохранилось лишь два параграфа из части первой, из главы первой, которую он, в соответствии с планом, назвал **„О собственных наблюдениях“**.

Здесь он говорит о собственноручных зарисовках сияний со своими объяснениями.

# ИСПЫТАНИЕ ПРИЧИНЫ СЕВЕРНОГО СИЯНИЯ И ДРУГИХ ПОДОБНЫХ ЯВЛЕНИЙ ЧАСТЬ ПЕРВАЯ, СОДЕРЖАЩАЯ В СЕБЕ НАБЛЮДЕНИЯ

## Глава I

### О СОБСТВЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Родившись и жив до возраста в таких местах, где северные сияния часто случаются, не без сожаления вспоминаю, что не мог пользоваться внимательным наблюдением разных перемен и обстоятельств, бывающих при таковых явлениях. Причина тому первая, что ради привычки частое и почти повседневное их оказание редко возбуждает в тамошних жителях внимание; вторая, что незнание наук не приводит их к любопытству. Итак, сколько могу себе представить, заподлинно уверяю, что в оном климате около 64 градусов северные сияния больше бывают непорядочные, и не могу вспомнить, чтобы когда я видел хотя мало регулярную дугу на севере или на полудне; но по большей части бывают всполохи наподобие зарницы или столбов и лучей весьма переменных; второе, хотя всполохи бывают по всему небу, однако больше на севере; третье, случалось видеть мною местами небо малинового, к вишневному склонного, цвету, между западом и полуднем; четвертое, чаще случалось видеть в ветреную погоду сквозь перерывные облака.

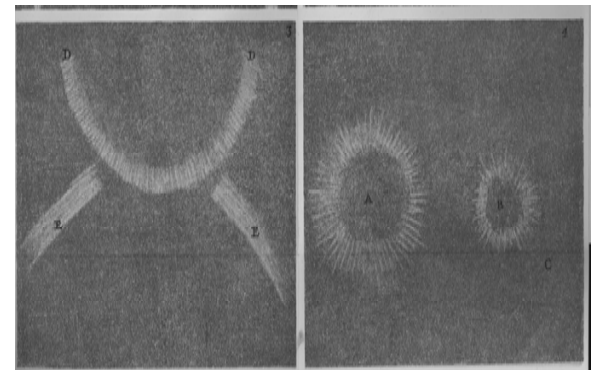
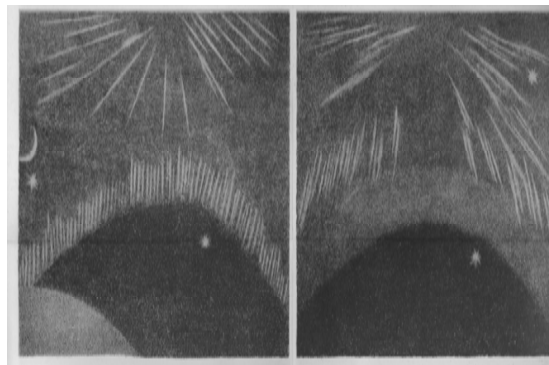
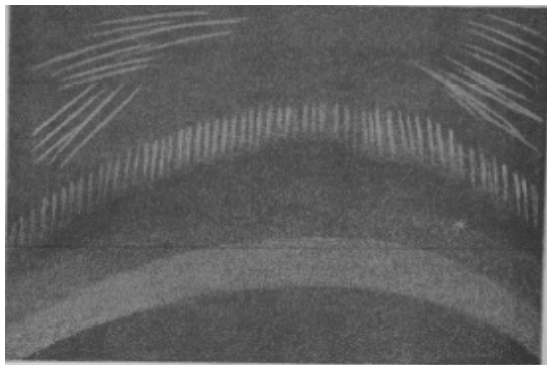
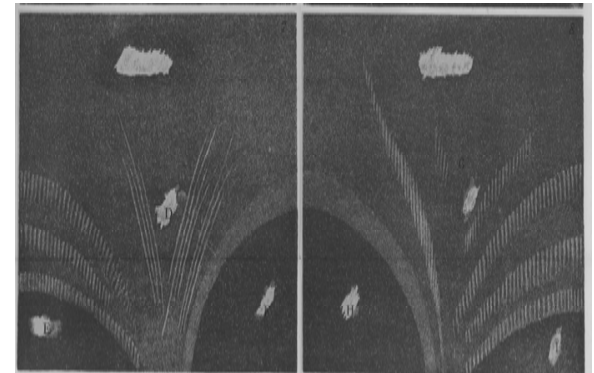
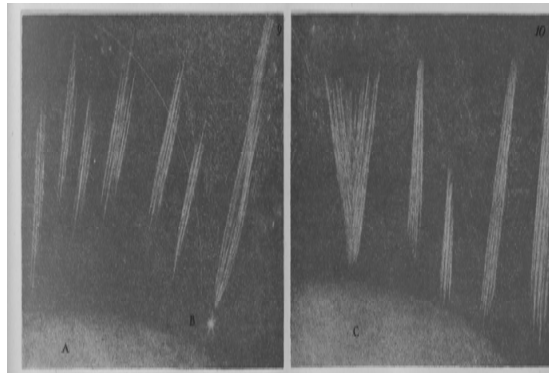
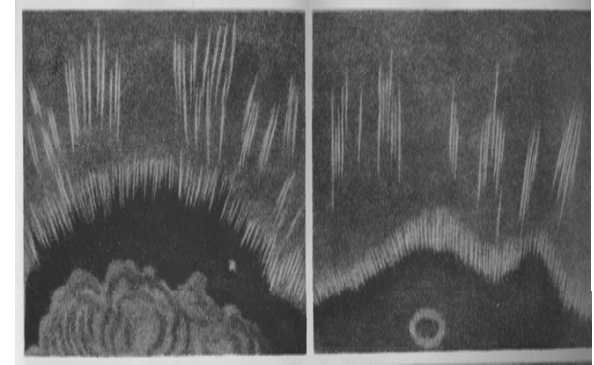
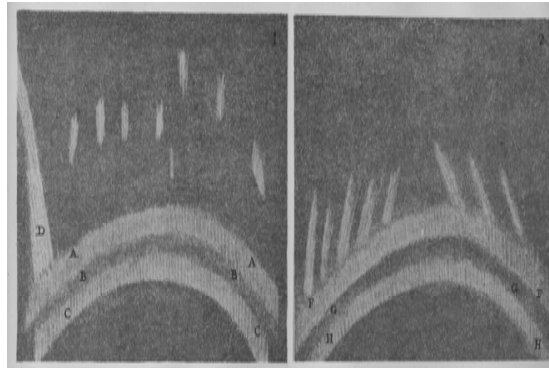
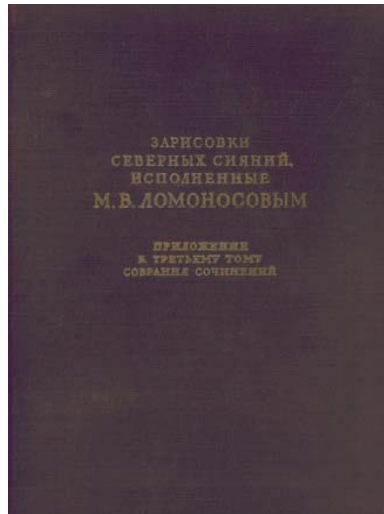
Здесь, в Санкт-Петербурге, лета возраста, любопытство и охота к испытанию природы, особливо ж когда громовая электрическая сила открылась, несравненно большее внимание и особенное старание употреблено мною к наблюдениям сих явлений. 1743 года редко пропущено мною северное сияние, мною виденное, без записки при прочих воздушных переменах. А с 1747 года начал я записывать обстоятельно большого внимания достойные сияния с обстоятельствами, редко случающимися, и оные срисовывать, сколько позволяла скорая их переменчивость. Многие из них были довольно постоянны, чтобы их изображения положить на бумагу с нарочитою точностию. В следующих фигурах и описаниях усмотреть можно таковые явления.

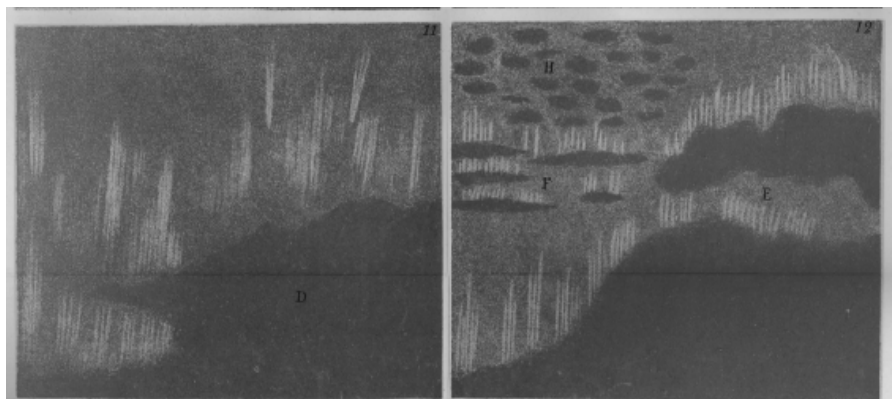
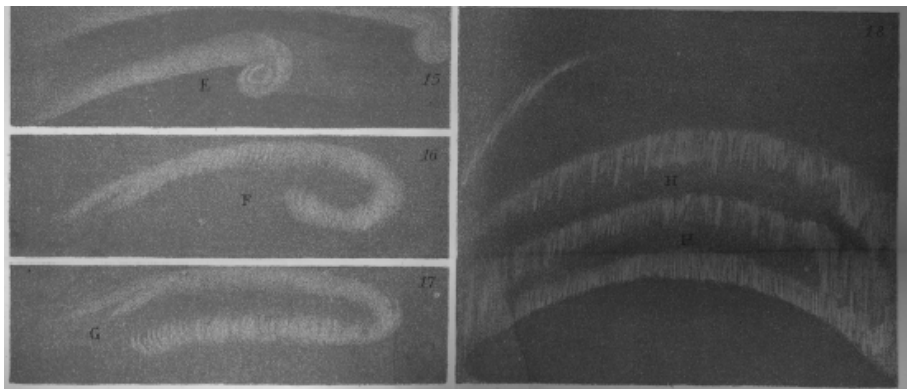
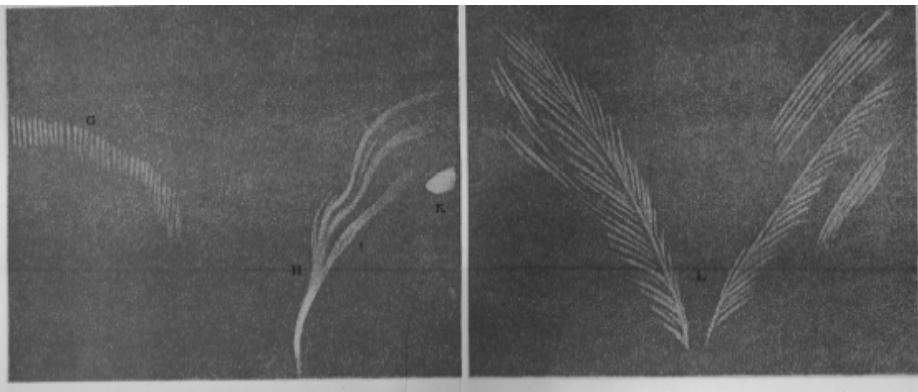
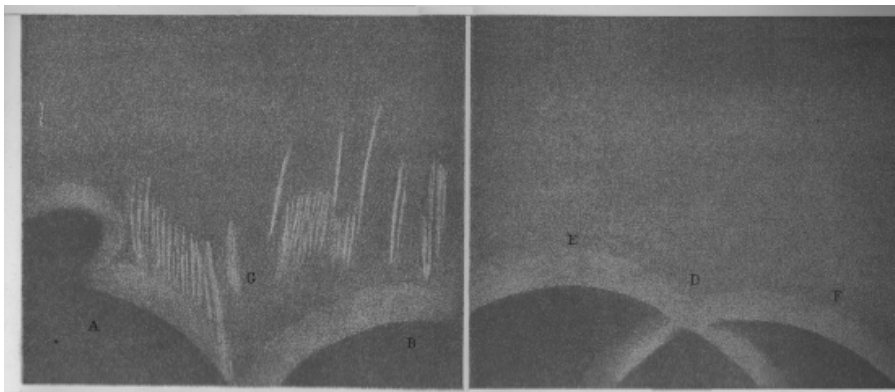
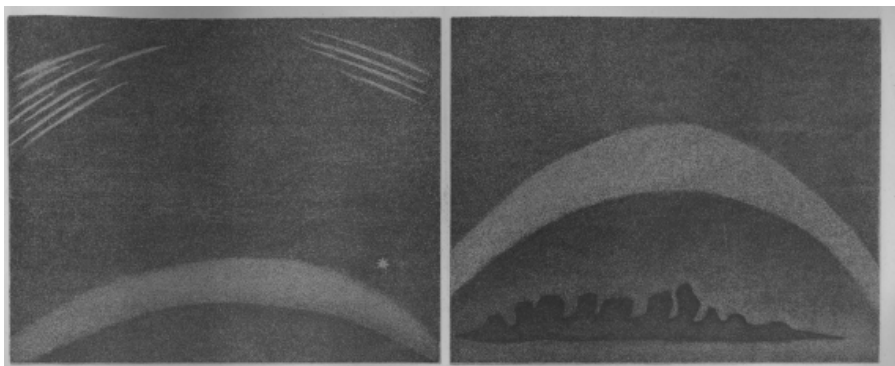
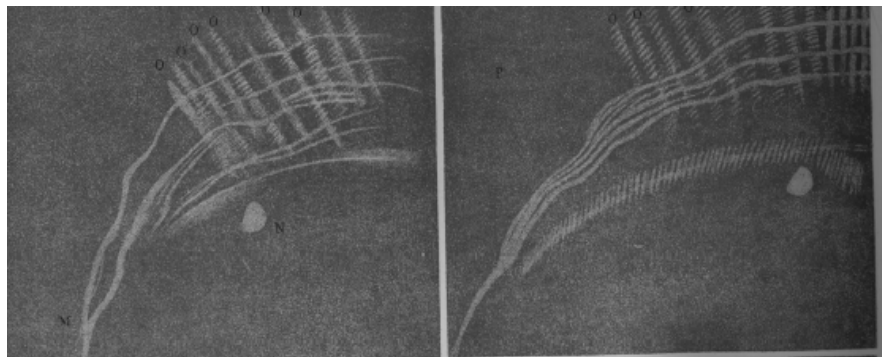
*Рукопись обрывается на упоминании об этих «фигурах» и их «описаниях».*

*В мае 1764г М.В.Ломоносов представил свои рисунки в Академию с предложением гравировать их на меди. Одиннадцать досок с гравюрами северных сияний были изготовлены уже после смерти Ломоносова и опубликованы полностью только в 1934г.*

# ЗАРИСОВКИ СЕВЕРНЫХ СИЯНИЙ, ИСПОЛНЕННЫЕ М.В.ЛОМОНОСОВЫМ

Некоторые рисунки северных сияний, воспроизводимые с оригинальных медных гравировальных досок 1764 г., которые хранятся в настоящее время в Музее М. В. Ломоносова (Санкт-Петербург).





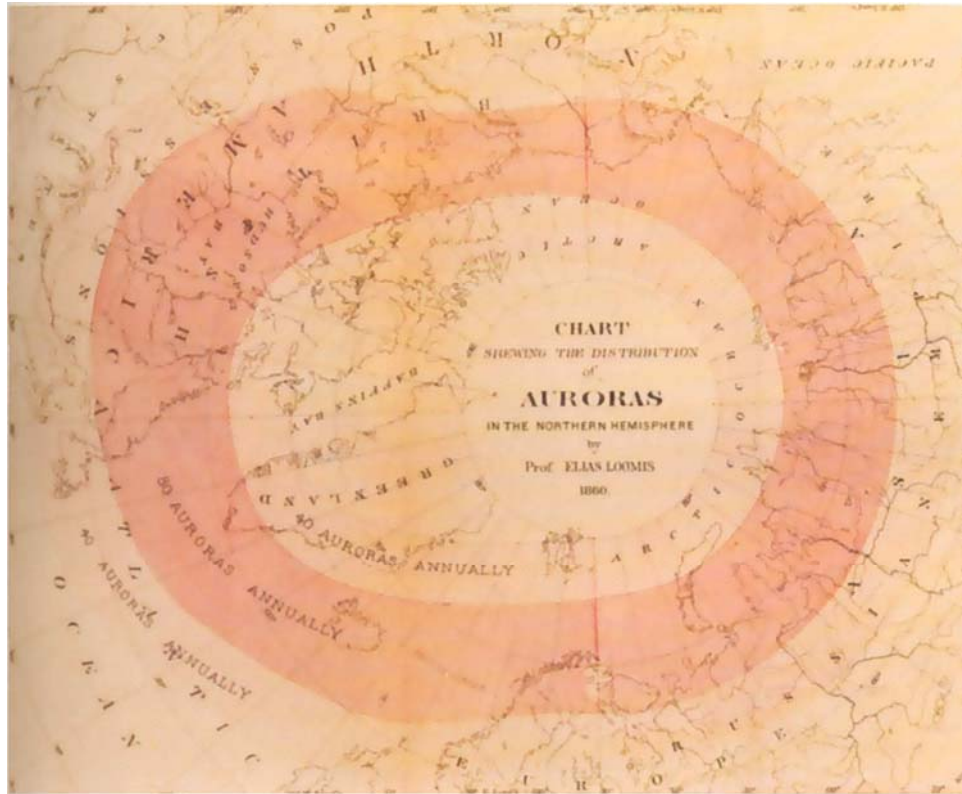


Чтобы понять природу полярных сияний, необходимо знать их пространственное распределение.

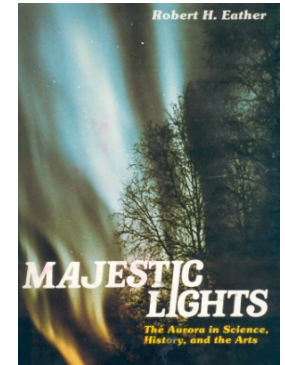
Первые карты пространственного распределения полярных сияний были опубликованы в 19 веке :

Loomis, E. On the geographical distribution of auroras in the northern hemisphere, Amer. J. Arts, 30, 89, 1860.

Fritz, H. Das Polarlicht, Leipzig, 1881.



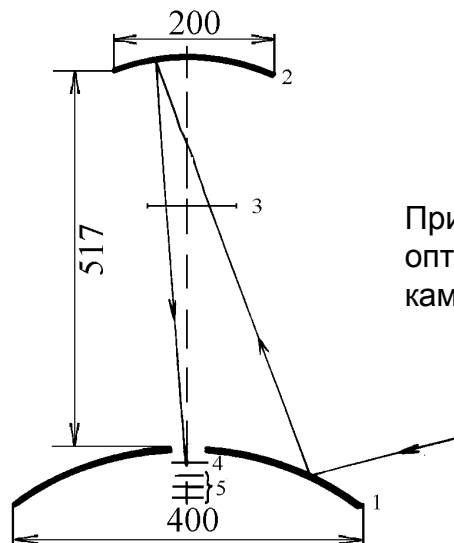
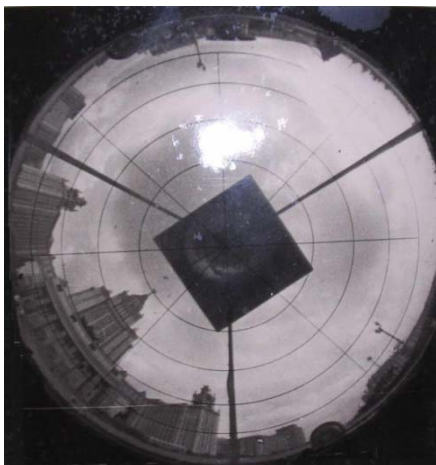
The auroral zone as determined by Loomis in 1860



Первые карты изолиний одинаковой частоты появления сияний были построены Фритцем в 1881г. По данным Фритца область максимальной вероятности появления сияний образует несколько деформированное кольцо на широте  $\sim 67^\circ$  с центром в геомагнитном полюсе (зона Фритца). В 50-х гг добавилось понятие о 2-ой внутренней зоне, которая также окружает геомагнитный полюс, но уже на широтах, близких к  $80^\circ$ .

Принципиальные изменения в представлениях о пространственно-временном распределении полярных сияний произошли после Международного геофизического года (МГГ) 1957-58гг. Решающую роль здесь сыграло создание в полярных районах обоих полушарий густой сети камер всего неба (all sky). В СССР подобная широкоугольная фотокамера С-180 была разработана проф. МГУ А.И. Лебединским. Из всех подобных камер мировой сети камера С-180 оказалась наиболее удачной. Камера позволяла автоматически вести съемку всего небосвода – от зенита до горизонта – с короткими экспозициями порядка нескольких минут. Ее использовали на десятках отечественных станций в Арктике и Антарктике, участвовавших в выполнении программы МГГ и Международного года спокойного Солнца (МГСС, 1964-65гг). Высокая синхронизация работы камер С-180 по всей сети станций (с ошибкой  $\pm 2.5$ с) позволила детально исследовать мгновенные характеристики полярных сияний в планетарном масштабе. Во время проведения МГГ и МГСС сотрудники НИИЯФ МГУ выполняли методическое и научное руководство по фотографическим наблюдениям полярных сияний. Активное участие в обработке результатов съемок принимала сотрудница НИИЯФ МГУ Ольга Ванифатьевна Хорошева.

Комплекс зданий МГУ,  
снятых камерой С-180

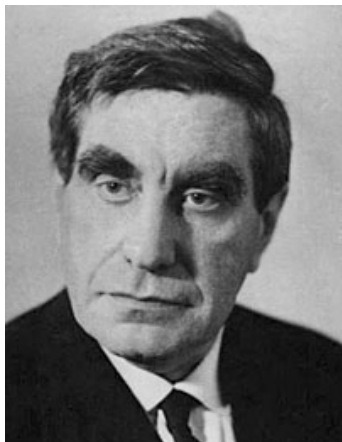


Принципиальная  
оптическая схема  
камеры С-180

Почтовая марка с  
изображением  
камеры С-180





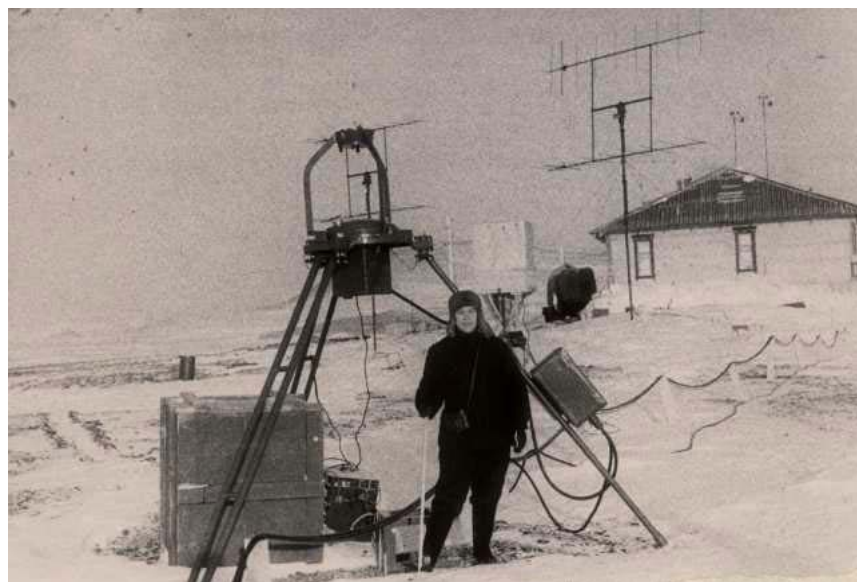


**Председатель секции  
полярных сияний МГГ,  
проф. Лебединский А.И.**



**Хорошева О.В.**

Мурманск, 1957 г. Курсы по  
подготовке операторов для  
работы на полярных  
станциях с камерой С-180

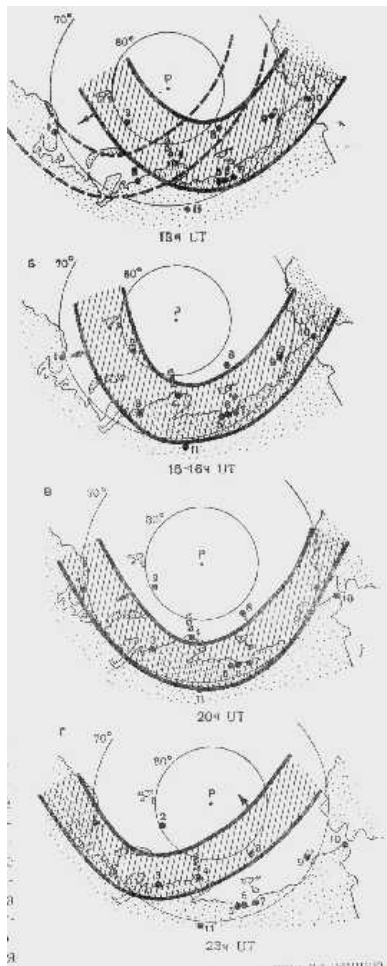


•О.В.Хорошева во  
время зимовки в 1958-  
59 гг на полярной  
станции в бухте Тикси у  
камеры С-180

# Кольцо Хорошевой

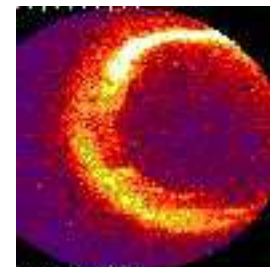
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ И ИХ СВЯЗЬ С ВЫСОКОШИРОТНЫМИ ГЕОМАГНИТНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ

О. В. Хорошева



Серия снимков камерой С-180 с дугой полярного сияния, возникшей в северной части неба и перемещающейся в южном направлении

По результатам обработки снимков синхронно работающих камер О.В.Хорошевой впервые было показано, что в конкретный фиксированный момент времени полярные сияния, одновременно наблюдаемые на разных долготах, представляют не отдельные изолированные друг от друга явления, а единую физически связанную полосу, изменяющую яркость и площадь, занимаемую на небосводе, синхронно на всем своем протяжении. Эта полоса в виде кольца опоясывает всю Землю и в течение суток относительно земного наблюдателя совершает регулярное движение, направление которого в каждой точке определяется местным временем. При своем суточном вращении это кольцо полуночным участком создает зону Фритца, полуденным – внутреннюю зону сияний.



# Авроральный овал и кольцо Хорошевой

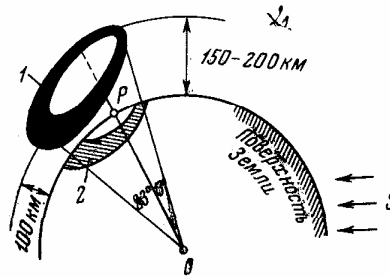
## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МОРФОЛОГИИ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ И МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Я. И. Фельдштейн

Крайне важным было подтверждение овальной формы зоны путем непосредственного просмотра аскафильмов полярных сияний. Такое подтверждение было сделано О.В. Хорошевой [Геомагнетизм и аэронамия, 1961, 1, № 5, с. 695].

Пространственное положение кольца сияний

S — Солнце; P — геомагнитный полюс. 1 — кольцо сияний; 2 — проекция кольца на земную поверхность



Хорошева, 1967

В 60-х гг были сформулированы основные закономерности явления полярных сияний. Было показано, что планетарное распределение полярных сияний представляет собой асимметричный овал, смещенный относительно геомагнитного полюса на ночную сторону. **Этот овал является как местом существования одновременно наблюдаемых, физически связанных между собой форм сияний (Хорошева), так и областями наибольшей вероятности их появления (Фельдштейн).** Авроральный овал – это видимый отпечаток крупномасштабной структуры геомагнитного поля и потоков авроральной радиации.

Lebedinsky, A. I.; Feldstein, Ya. I.; Khorosheva, O. V., Investigations of Auroral Planetary Distribution, Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 17, Supplement A-I, Proceedings of the International Conference on Cosmic Rays and the Earth Storm, held 5-15 September, 1961 in Kyoto, Volume 1: Earth Storm. Published by the Physical Society of Japan, 1962., p. 249.

Независимо Я.И.Фельдштейном в результате статистической обработки данных 24 станций северного полушария было показано, что максимумы вероятности появления сияний на разных геомагнитных широтах располагаются вдоль овала, смещенного по линии «Солнце-Земля» на ночную сторону (сб. «Полярные сияния», 1960, №4, часть 2, с.61)

Соответствие между положением полосы сияний по Хорошевой и положением овала, полученного статистически и отображающего среднее положение зоны полярных сияний можно считать довольно хорошим.

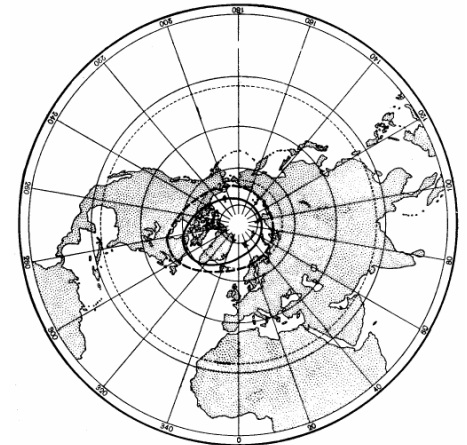


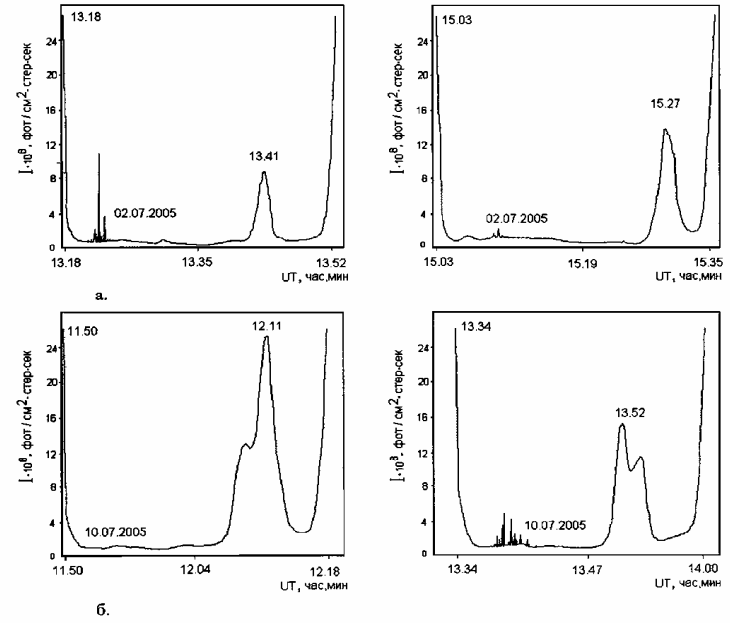
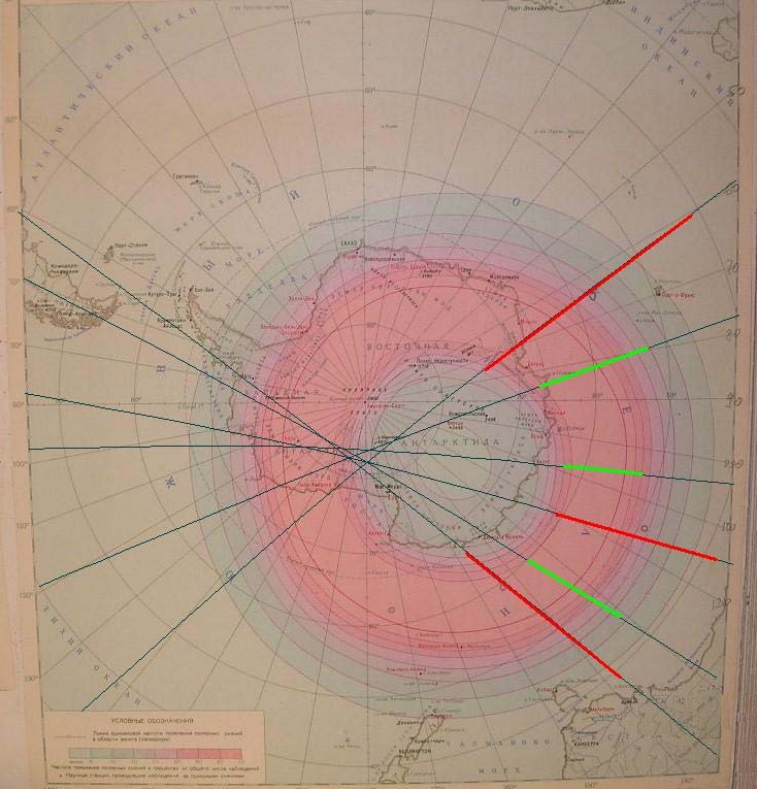
Рис. 16. Положение зоны максимальной частоты появления полярных сияний в земите по магнитно-спокойным (1) и магнитно-возмущенным (2) дням

Изучение полярных сияний, авроральной радиации и связи их с процессами, происходящими в магнитосфере во время геомагнитных возмущений было продолжено в НИИЯФ МГУ космическими методами. Многие закономерности удалось понять по результатам измерений на спутнике «Космос-900» («Овал») (запуск в 1977 г, круговая орбита высотой 500 км, наклоном 83°, период обращения 94,4 мин). Измерения свечения атмосферы выполнялись фильтровым фотометром в полосе полушириной 80 Å, центрированной на  $\lambda$  3914 Å, принадлежащую высвечиванию ионов  $N_2^+$ . Электроны и протоны с энергиями в десятки кэВ измерялись полупроводниковыми спектрометрами.

30	Динамика кольцевого тока, высыпающихся частиц, свечения полярных сияний по данным ИСЗ "Космос-900"	Всесоюзное совещание по итогам выполнения проекта "Международные исследования магнитосферы", Ашхабад, 1981,	1	А.В.Дронов, А.С.Ковтюх, Т.И.Морозова, М.И.Панасюк, С.Я.Рейзман, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева
31	Динамика энергичных частиц и свечения полярных сияний во время магнитосферных возмущений по данным ИСЗ "Космос-900"	Всесоюзное совещание по итогам выполнения проекта "Международные исследования магнитосферы", Ашхабад, 1981, с. 133	1	А.В.Дронов, Т.И.Морозова, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева
32	Ring current, high-energy particle precipitations and auroras during the magnetic storm of December 1-2 1977 as deduced from Cosmos-900 Data	24 COSPAR, Canada, 16 May-2 June 1982, Ottawa, Abstract, 1982, p. 233	1	A.V.Dronov, T.I.Morozova, M.I.Panasyuk, E.N.Sosnovets, L.V.Tverskaya, V.A.Tverskoy, V.I.Tulupov, O.V.Khorosheva
33	Взаимосвязь кольцевого тока высыпающихся электронов и свечения полярных сияний в утреннем секторе магнитосферы по данным ИСЗ "Космос-900"	Геомагнетизм и аэрономия, 1982, т. XXI, N 1, с. 85-89	5	А.В.Дронов, М.И.Панасюк, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева
42	Взаимосвязь кольцевого тока, областей высыпания электронов и свечения полярных сияний в вечерне-полуночном секторе магнитосферы	Геомагнетизм и аэрономия, 1988, т. 28, N 6, с. 1011-1016	6	А.В.Дронов, Т.И.Морозова, Э.Н.Сосновец, Л.В.Тверская, В.И.Тулупов, О.В.Хорошева



В 60-х гг прошлого века в СССР был издан Атлас Антарктики. Материалы по разделу «полярные сияния» для Атласа были подготовлены под руководством А.И.Лебединского О.В.Хорошевой и Я.И.Фельдштейном. Ниже приведена карта Антарктики с изображением изолиний одинаковой частоты полярных сияний южного полушария. На карту наложены некоторые траектории учебно-образовательного спутника «**Университетский-Татьяна**», запущенного к юбилею МГУ в 2005 г (наклонение 82°, высота 950 км). На траекториях цветом выделены участки регистрации фотометром на этом спутнике полярных сияний в ультрафиолете ( $\lambda\lambda$  300 – 400 нм) в условиях спокойной (2.07.2005 г – зеленый цвет) и возмущенной магнитосферы (10.07.2005 г – красный цвет).



Те же данные в графическом виде

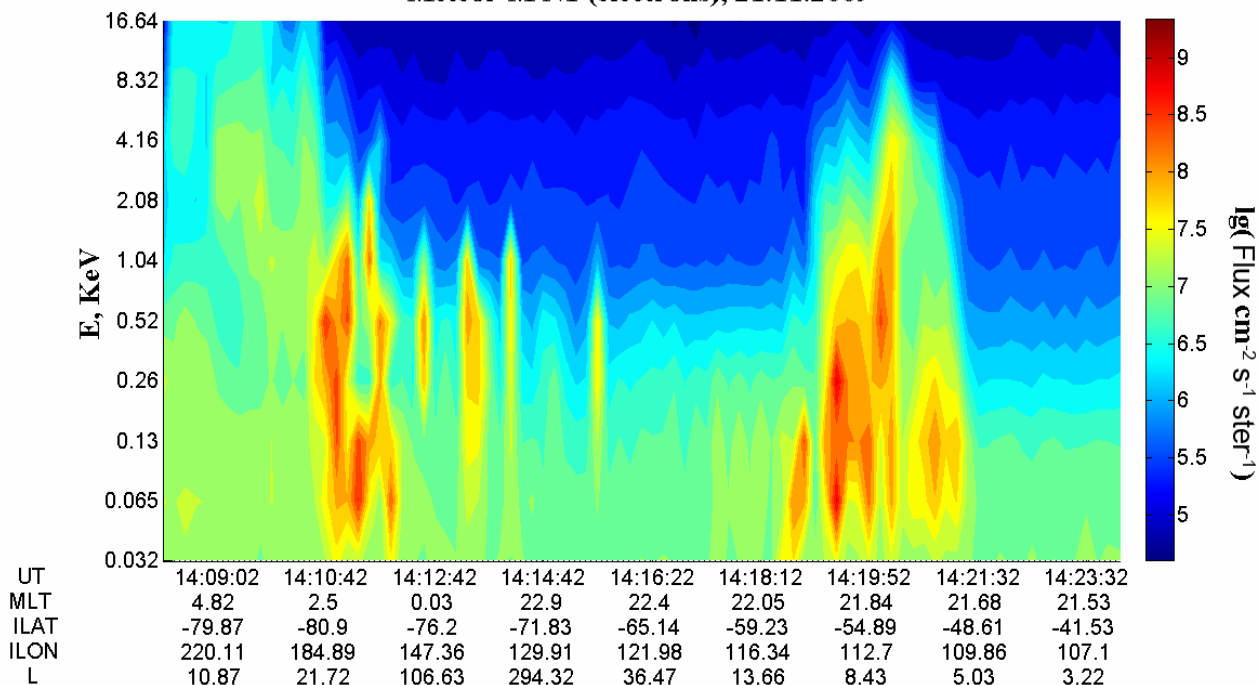


# Исследования аврорального кольца на российском спутнике МЕТЕОР-М №1



Запущен на полярную круговую орбиту 17 сентября 2009 г  
 высота ~ 832 км (солнечно синхронная орбита)  
 Орбитальный период – 101.3 мин  
 наклонение ~ 98°  
 Научная информация начала поступать с 8 октября 2009.

Meteor-M N1 (electrons), 21.11.2009



Пример пересечения  
 аврорального кольца  
 21.11.2009

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ