

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН) вчера, сегодня, завтра

В.Д. Кузнецов

Дается описание научных и прикладных предпосылок создания ИЗМИРАН, основных этапов его развития и его деятельности на протяжении 75 лет. Развитию магнитных измерений в России во многом способствовали потребности магнитной навигации для российского морского флота, Указы Петра I и создание в 1724 г. Петербургской академии наук. Отмечена роль членов Петербургской академии наук в развитии геомагнетизма, в создании и развитии магнитных измерений на территории России. Потребность в устойчивой радиосвязи способствовала развитию исследований ионосферы и распространения радиоволн. Заметное влияние на развитие института оказало начало космической эры и проведение в 1957 г. Международного геофизического года, что послужило впоследствии также толчком к созданию ряда геофизических институтов страны. На современном этапе своей деятельности ИЗМИРАН проводит исследования по широкому кругу научных проблем, связанных с геомагнетизмом, солнечно-земной физикой, ионосферой и распространением радиоволн, что находит практическое применение в изучении и прогнозировании космической погоды, значение которой возрастает в связи с её существенным воздействием на постоянно расширяющиеся современные наземные и космические технологии (космическая навигация и связь, космическая деятельность и др.).

Ключевые слова: геомагнетизм, ионосфера, распространение радиоволн, солнечно-земная физика

PACS numbers: 01.10.Fv, **01.65.+g**, **91.25.-r**, 94.05.Sd, **94.20.-y**

DOI: 10.3367/UFNr.0185.201506g.0632

Содержание

1. Введение (632).
 2. Из истории геомагнетизма (633).
 3. Предыстория ИЗМИРАН (634).
 4. Создание и развитие ИЗМИРАН (635).
 5. Заключение (641).
- Список литературы (642).

1. Введение

За 75-летнюю историю Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН) происходили заметные изменения в науке, менялся и институт, менялись и научные приоритеты, но главный итог прошедших лет состоит в

том, что то научное направление, ради которого был создан ИЗМИРАН, продолжает жить и развиваться, давая новые знания и становясь всё более востребованным.

Магнитное поле Земли играет фундаментальную роль в цивилизации, являясь неотъемлемой частью среды обитания человека и своего рода магнитным щитом, оберегающим всё живое на Земле от космической радиации. Оно образует магнитосферу Земли (рис. 1), влияет на свойства ионосферной плазмы, делая её магнитоактивной и изменяя условия распространения радиоволн. Во время магнитных бурь околоземное космическое пространство (ОКП) возмущено, что создаёт проблемы для спутников, радиосвязи и наземных энергосистем. Сегодня возмущение ОКП также оказывает влияние на сигналы современных навигационных систем GPS (Global Positioning System), ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) и на всё, что с ними связано. Взаимосвязь явлений на Солнце, в магнитосфере и ионосфере Земли и зависимость от них состояния среды обитания и деятельности человека придают изучению магнитного поля Земли комплексный характер, учитывающий все факторы, влияющие на его изменения, как сверху — от Солнца, так и снизу — от недр Земли.

В.Д. Кузнецов. Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калужское шоссе 4, 142190 Троицк, Москва, Российская Федерация
Тел. (495) 851-01-20. Факс (495) 851-01-24
E-mail: kvd@izmiran.ru

Статья поступила 19 марта 2015 г.

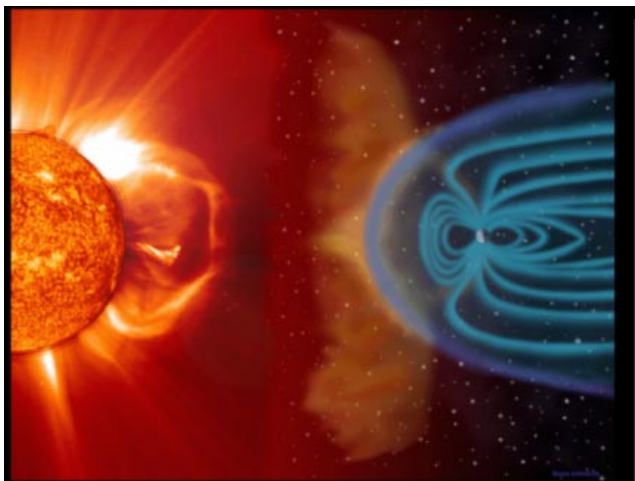


Рис. 1. Магнитосфера Земли, сформированная в результате обтекания дипольного магнитного поля Земли солнечным ветром.

2. Из истории геомагнетизма

В истории земного магнетизма точно не известно, когда был изобретён магнитный компас, но есть документальные подтверждения его использования для ориентирования в направлении север–юг уже в первые века нашей эры. Начало изучения земного магнетизма относят к XV в., и оно было связано с развитием мореплавания и навигации [1]. Первые измерения напряжённости магнитного поля Земли с использованием простейшего компаса были выполнены в Италии в 1436 г.

Серьёзным толчком к развитию науки о земном магнетизме послужило открытие магнитного склонения (угла между направлениями на географический и магнитный полюсы) во время четырёх экспедиций Колумба из Европы в Америку (1492–1504 гг.). Магнитное склонение оказалось зависящим от географического местоположения корабля, а сегодня мы знаем, что оно изменяется также и со временем в каждой точке из-за векового хода самого геомагнитного поля. Можно заметить, что если находиться на линии между магнитным и географическим полюсом, то направление на географический полюс будет строго противоположным направлению магнитной стрелки.

Первое определение магнитного склонения на территории России было проведено в 1556 г. в Печоре английским путешественником Стивеном Боро, а впоследствии магнитное склонение определялось английскими исследователями. Поморские мореходы одними из первых заметили, что "матка" (как они называли компас) "шалит" во время полярных сияний. Мы теперь знаем, почему. По-видимому, впервые идею о том, что действие компаса связано с магнитным полем Земли, высказал английский учёный В. Гильберт в книге *О магните, магнитных телах и большом магните — Земле*, вышедшей в Лондоне в 1600 г. Эта работа положила начало нашим представлениям о существовании единого геомагнитного поля.

В России изучение геомагнитного поля началось в эпоху Петра I (1672–1725), что было связано с развитием отечественного флота и морской навигации. Указом Петра I всем капитанам и командирам кораблей во время плавания вменялось в обязанность измерять магнит-

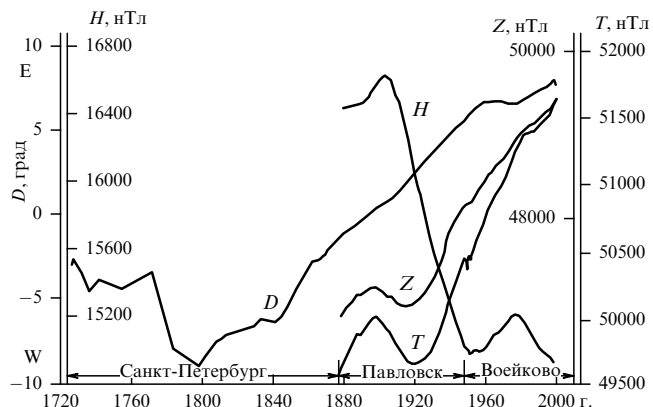


Рис. 2. Графики векового хода элементов геомагнитного поля в городах Санкт-Петербург (1724–1878 гг.), Павловск (1878–1941 гг.) и Воейково (1948–2000 гг.), построенные в Санкт-Петербургском филиале ИЗМИРАН. Стрелками отмечены времена переноса наблюдений в новые места [1]. D — склонение магнитного поля, H , Z — соответственно горизонтальная и вертикальная компоненты магнитного поля T .

ное склонение. Петром I были также написаны первые инструкции для морского флота "По практическому применению и обращению с компасами". Важным шагом в развитии геомагнитных исследований в России стало учреждение по велению Петра I Петербургской академии наук Указом правительствующего Сената 1724 года. На первом же торжественном публичном заседании Академии 27 декабря 1725 г. наука о земном магнетизме была отнесена Академией к числу наиболее важных.

Начатые в 1726 г., согласно распоряжению Петра I, систематические наблюдения магнитного склонения не прерывались, и сегодня они представляют собой один из наиболее длинных рядов наблюдений в Европе (рис. 2). Кривая D на рис. 2 — это вековой ход склонения магнитного поля Земли в С.-Петербурге почти за 300 лет. За это время изменение направления поля составило около 16° , что весьма значительно, поэтому изменения поля необходимо постоянно измерять и учитывать. Сегодня наблюдения магнитного склонения продолжают в обсерватории Воейково, входящей в состав С.-Петербургского филиала ИЗМИРАН.

В Петербургской академии наук интерес к геомагнетизму был настолько велик, что многие выдающиеся российские академики в той или иной степени работали в этой области. Академик Леонард Эйлер (1707–1783) был одним из первых, кто вывел формулы, которые позволили определить, где находятся магнитные полюсы, а затем и вычислить значения магнитного поля в любой точке земного шара, хотя точность расчётов по этим формулам оказалась малой для практики. Эйлер, который решительно не соглашался с гипотезой Галлея о наличии двух магнитов внутри Земли, полагал, что внутри земного шара находится единственный магнит, смещённый относительно центра Земли, а "количество магнитной материи, во внутренности земной находящейся, подвержено заметным переменам, от чего и склонение со временем изменяется". Академик Даниил Бернулли в 1741 г. получил премию Французской академии наук за создание теории инклинатора — прибора для измерения величины наклонения магнитного поля Земли, что являлось чрезвычайно актуальным вопросом для

того времени. В 1759 г. академик Франц Эпинус написал трактат *Опыт теории электричества и магнетизма*, оказавший большое влияние на последующее развитие учения о магнетизме, по крайней мере, в России. Он поддерживал идею Эйлера об одном магните. Эпинус писал: "...само ядро подвержено медленным изменениям и в отношении формы, и в отношении распределения по нему магнитной материи".

Заметный вклад в развитие учения о геомагнетизме внёс Михаил Васильевич Ломоносов в труде *Рассуждение о большей точности морского пути*, где он высказал вполне современное предположение о том, что земной шар состоит из мельчайших разнородно намагниченных частичек, которые в совокупности образуют неоднородно намагниченный шар, чем и объясняются неодинаковые значения магнитного склонения в различных частях земного шара. Этим он сделал шаг вперёд по отношению к представлениям У. Гильберта, считавшего поле Земли полем одного магнита с двумя полюсами, и предвосхитил идею К.Ф. Гаусса о произвольном намагничивании земного шара. М.В. Ломоносов способствовал также решению практических задач измерения элементов земного магнетизма. По его проекту была снаряжена экспедиция, одной из задач которой было проведение измерений магнитного поля.

В 1835 г. членом-корреспондентом Петербургской академии Иваном Михайловичем Симоновым была разработана новая теория геомагнетизма в труде *Опыт математической теории земного магнетизма* [2, 3], в котором он показал, что магнитное поле Земли, вызванное суммарным действием магнитных частиц, находящихся внутри неё, будет совпадать с полем диполя, если допустить, что частицы распределены равномерно. Работа И.М. Симонова была напечатана ещё до появления фундаментального труда К.Ф. Гаусса *Общая теория земного магнетизма* [4], и приведённое И.М. Симоновым выражение потенциала диполя в зависимости от широты и долготы оказалось тождественным первому члену разложения потенциала, введённого Гауссом.

Глубокое и всестороннее изучение земного магнетизма на качественно новом научном уровне связано с двумя классическими работами великого математика академика Карла Фридриха Гаусса (рис. 3). В первой из этих работ 1832 года он предложил новый метод измерения горизонтальной составляющей магнитного поля, сразу позволивший повысить точность измерений, и предложил конструкцию прибора для этих целей. В 1837 г. Гаусс изобрёл униполярный магнитометр, а в 1838 г. — бифилярный. Во второй работе [4] 1838 года Гаусс развил математическую теорию потенциала, согласно которой земное магнитное поле **V** представляется в виде разложения магнитного потенциала Земли *V* в бесконечный ряд по шаровым функциям:

$$V(r, \theta, \varphi) = R \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r} \right)^{n+1} \times \\ \times (g_n^m \cos m\varphi + h_n^m \sin m\varphi) P_n^m(\cos \theta), \quad \mathbf{B} = -\nabla V,$$

где *R* — стандартный радиус Земли (6371,2 км), *r* — расстояние от центра Земли, g_n^m — коэффициенты Гаусса, P_n^m — шаровые функции (присоединённые полиномы Лежандра).

Подбор коэффициентов Гаусса во введённом им разложении, наилучшим образом описывающих текущие



Рис. 3. Великий математик К.Ф. Гаусс (1777–1855), внёсший большой вклад в теорию геомагнетизма.

магнитометрические данные сети магнитных обсерваторий и спутников, до сих пор составляет основу современных моделей геомагнитного поля — так называемое Международное эталонное геомагнитное поле, обновляемое каждые пять лет.

Основанное К.Ф. Гауссом в 1834 г. научное общество "Магнитный союз физиков" (Геттинген, Англия) ставило своей задачей изучение земного магнетизма на всей планете. Гауссу и другим учёным удалось привлечь интерес правительств разных стран к изучению магнитного поля Земли, а также к созданию новых и расширению имеющихся обсерваторий в Германии, Франции, Англии и России.

В 1829 г. Петербургская академия наук принимает решение о строительстве первых магнитных обсерваторий в России, что было заслугой Александра фон Гумбольдта и члена Петербургской академии наук, профессора Казанского университета А.Я. Купфера (рис. 4). К этому времени уже были построены приближённые карты магнитного поля для всей территории России и началась разработка проектов планомерной магнитной съёмки территории Российской империи. В Петербурге первые регулярные магнитные наблюдения были проведены А.Я. Купфером в физическом кабинете Академии наук в 1829 г.

3. Предыстория ИЗМИРАН

В 1830 г. в С.-Петербурге за северной стеной Петропавловской крепости А.Я. Купфером был построен магнитный павильон или, как его называли, Магнетическая обсерватория. Можно считать, что эта первая Петербургская магнитная обсерватория стала в какой-то мере первой ласточкой в создании ИЗМИРАН. Утверждается план развёртывания сети магнитных обсерваторий, происходит дальнейшее развитие магнитных измерений. Со



Рис. 4. Академик Петербургской академии наук Адольф Яковлевич Купфер (1799–1866).

временем из-за помех, вносимых трамваями, точные магнитные наблюдения в центре С.-Петербурга становятся невозможными, и магнитные обсерватории переносятся сначала на Васильевский остров в так называемую Нормальную обсерваторию Главной физической обсерватории (ГФО), а затем — в город Павловск (после революции — Слуцк) под С.-Петербургом. Павловская обсерватория была лучшей в мире — в неё приезжали учёные из-за рубежа на стажировку, а также для заимствования опыта и сверки приборов, и она играла роль базовой обсерватории при обучении персонала и создании эталонных приборов.

В 1892 г. по предложению академика Ф.А. Бредихина были проведены первые одновременные наблюдения магнитных бурь и явлений на Солнце на базе Павловской магнитной обсерватории и Главной астрономической обсерватории в Пулкове. Такие наблюдения впоследствии, хотя они и неоднократно прерывались, в конечном счёте привели к созданию Службы Солнца как необходимого элемента для изучения солнечно-земных связей и причинно-следственных явлений в системе Солнце–Земля.

В 1896 г. вышел первый номер ежеквартального международного журнала *Terrestrial Magnetism*, переименованного в 1899 г. в *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*. В 1938 г. С. Чапман предложил заменить термин "земной магнетизм" термином "геомагнетизм".

В 1916 г. директором ГФО на недолгое время становится академик А.Н. Крылов, издавший в 1922 г. книгу *О земном магнетизме* [5]. В 1924 г. ГФО в Павловске стала называться Главной геофизической обсерваторией (ГГО), и в её составе в Петербурге создаётся Геомагнитное отделение, руководство которым поручается Н.В. Розе. Основной задачей Геомагнитного отделения была подготовка к проведению Генеральной магнитной съёмки страны, прерванной Первой мировой войной.

В течение последующих лет в ГГО происходила череда реорганизаций, в 1930 г. она становится Научно-исследовательским институтом всесоюзного значения, и в нём создаются отраслевые институты, в том числе Институт земного магнетизма и атмосферного электричества (ИЗМАЭ) в 1931 г., который впоследствии несколько раз переименовывался и реорганизовывался, в результате чего первоначально объединённые в составе института магнитные подразделения: группа геомагнитных экспедиций (бывшее Бюро генеральной магнитной съёмки), сектор атмосферного электричества, группа земного магнетизма, Слуцкая магнитная обсерватория — все по отдельности оказываются в центральном подчинении ГГО. Руководителем Слуцкой (Павловской) магнитной обсерватории был назначен Н.В. Пушков.

В 1938 г. регулярно проводимое на базе Центральной Слуцкой обсерватории совещание руководителей всех магнитных обсерваторий, число которых к тому времени возросло до 17, приняло рекомендацию обратиться в Совет народных комиссаров (Совнарком) СССР от имени Главного управления Гидрометеорологической службы с предложением организовать на базе Слуцкой магнитной обсерватории и группы магнитных экспедиций Институт земного магнетизма как единое научно-методическое учреждение по земному магнетизму и службе Солнца.

4. Создание и развитие ИЗМИРАН

11 октября 1939 г. вышло постановление Совнаркома об организации Научно-исследовательского Института земного магнетизма (НИИЗМ) в системе Главного управления Гидрометеорологической службы на базе Слуцкой (Павловской) магнитной обсерватории с нахождением в городе Слуцке. В состав НИИЗМ вошла также группа магнитных съёмок и картографии в Ленинграде. Директором НИИЗМ стал кандидат физико-математических наук Н.В. Пушков.

Основными задачами института были: всестороннее комплексное изучение явлений земного магнетизма, земных токов, полярных сияний, ионосферы; усовершенствование методов и приборов, необходимых для изучения этих явлений; научно-методическое руководство магнитной службой СССР; обеспечение народного хозяйства, культурного строительства и обороны страны данными по земному магнетизму. В научные программы института были включены также наблюдения ионосферы, ионосферно-магнитных возмущений, составление краткосрочных прогнозов состояния магнитного поля, наблюдения Солнца. Всё это было связано с потребностями обеспечения надёжной радиосвязи и прогноза условий распространения радиоволн в ионосфере в зависимости от солнечной и геомагнитной активности. Штат НИИЗМ к началу 1940 г. составлял немногим более ста человек. В институте работало 45 научных работников, в том числе два профессора, восемь кандидатов наук и 34 младших научных сотрудника.

Основатель и первый директор института Николай Васильевич Пушков (рис. 5) учился на физико-математическом факультете МГУ (с 1926 г.) и впоследствии стал одним из первых аспирантов кафедры магнитометрии (1930 г.) на физико-математическом факультете Ленинградского университета, которую возглавлял Н.В. Розе. В 1934 г. Н.В. Пушков защитил кандидатскую диссертацию.



Рис. 5. Николай Васильевич Пушков (1903–1981) — организатор и первый директор ИЗМИРАН.

цию на тему "Теории космического магнетизма" и стал старшим научным сотрудником Слуцкой магнитной обсерватории, а в 1937 г. — её директором. Им внесён определяющий вклад в создание института, формирование его тематической направленности и кадрового состава и оснащение института научным оборудованием. Н.В. Пушков — лауреат Ленинской премии, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, кавалер трёх орденов Трудового Красного Знамени и ордена "Знак Почёта", один из основателей советской геофизики и мировой солнечно-земной физики — возглавлял институт в течение 30 лет. В 2004 г. постановлением президиума РАН институту присвоено имя Н.В. Пушкина. Его именем также названы улица города Троицка (ул. Пушкиных, отца и сына), первая школа города (ныне гимназия), на здании института и в городе установлены памятные доски Н.В. Пушкину как основателю ИЗМИРАН и научного городка.

Через полтора года после создания института началась война и НИИЗМ стал военизированным учреждением Красной Армии. Институт был эвакуирован из блокадного Ленинграда на Урал в район магнитной обсерватории, в село Косулино под Свердловском (Екатеринбург), где сотрудники осваивали ионосферные и солнечные наблюдения и создавали службу солнечных и ионосферных прогнозов, составляли карты магнитного склонения по важной воздушной трассе через Чукотский полуостров, готовили долгосрочные прогнозы состояния ионосферы для нужд Советской Армии.

Э.И. Могилевский и Н.П. Бенькова, проработавшие в институте многие годы, внесли большой вклад в создание службы Солнца и ионосферной службы в стране; они прибыли в Красную Пахру в декабре 1944 г. в числе

первых сотрудников будущего института, который положил начало городу как наукограду.

В Ленинграде, где оставалась небольшая группа сотрудников, в период блокады погибли научные сотрудники института Н.Н. Трубячинский, А.Я. Безгинский, П.Е. Федулов, Б.П. Вейнберг и др., был необоснованно репрессирован и погиб Н.В. Розе. Павловская обсерватория была полностью уничтожена войной.

В 1944 г. институт был переведён в Красную Пахру, в недостроенное здание Московской геофизической обсерватории. Первый научный десант, приехавший в 1944 г., положил начало научному поселению и созданию впоследствии научного центра в Троицке. (По поводу этого события и в связи с 75-летием института принято решение о закладке памятного камня в центре Троицка.) Началось строительство Главного и других зданий института, магнитной обсерватории; силами сотрудников после рабочего дня строились первые финские домики для проживания. Многие сотрудники жили в Главном здании института.

В Ленинград из эвакуации вернулись отделы магнитной съёмки и магнитной картографии, на базе которых в 1946 г. образовался Ленинградский (ныне Санкт-Петербургский) филиал ИЗМИРАН. С 1946 г. при Ленинградском филиале в Воейково начали работать новая магнитная обсерватория и ионосферная станция. В институте организуется конструкторское бюро и разворачиваются работы по опытному приборостроению, в частности, изготавливаются кварцевые магнитометры для геофизической кафедры в построенном новом здании Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Второе десятилетие деятельности института было насыщено важными событиями, которые способствовали дальнейшему его укреплению и развитию. Нельзя не упомянуть развернувшуюся в конце 1940-х — начале 1950-х годов кампанию по притеснению физиков как некое продолжение гонений на генетиков. Не обошла она и Н.В. Пушкина, который вместе с академиком Е.К. Фёдоровым и другими физиками испытал так называемый суд чести, на котором им инкриминировалось, в частности, продолжение научных контактов с зарубежными учёными, которые, естественно, были необходимы во время Великой Отечественной войны. Всё это удалось преодолеть, и Н.В. Пушков даже смог, несмотря ни на что, взять на работу в институт уволенных из Физического института им. П.Н. Лебедева (ФИАН) физиков Я.Л. Альперта и Я.И. Лихтера, а также физиков-ядерщиков — выпускников МГУ, которые организовали в институте отдел вариаций космических лучей, многие годы возглавлявшийся Л.И. Дорманом.

В 1951 г. создаётся Мурманское отделение института для детального изучения магнитно-ионосферных явлений, наиболее интенсивных в высоких широтах, а также полярных сияний. В 1953 г. для измерений магнитных полей на морских акваториях институт получил немагнитное судно — шхуну "Заря" (рис. 6), в ежегодных экспедициях на которой был получен богатейший материал для построения магнитных карт, изучены особенности глобального распределения геомагнитного поля и ионосферных процессов, обнаружены неизвестные ранее магнитные аномалии. За 35 лет работы на шхуне собран уникальный материал.



Рис. 6. Немагнитная шхуна "Заря" (1953–1988 гг.).

В 1956 г. институт в связи со значительным возрастанием в нём роли исследований ионосферы и распространения радиоволн передаётся министерству связи СССР с присвоением нового наименования — Научно-исследовательский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (НИЗМИР). Увеличивается число тем по вопросам радиосвязи и распространения радиоволн, начинаются экспедиционные работы по исследованиям Антарктиды.

Поворотным моментом развития института стал Международный геофизический год (МГГ) (1957 г.), крупнейший международный проект, который позволил институту превратиться из отраслевого в академический. При головной роли института широким фронтом были развёрнуты исследования по солнечно-земной физике, в которых принимало участие большое число институтов Академии наук и ведомств. По всей стране были созданы новые научные центры, занимающиеся исследованиями в области солнечно-земной физики: Сибирский ИЗМИРАН в Иркутске (ныне Институт солнечно-земной физики СО РАН), Полярный геофизический институт в Мурманске на базе Мурманского отделения НИИЗМ, Институт космофизических исследований и аэронавтики в Якутске.

В 1960 г. по инициативе Н.В. Пушкова и Ю.Д. Калинина был основан академический журнал *Геомагнетизм и аэронавтика*, ставший ведущим мировым изданием по геофизике и солнечно-земной физике. При институте создаётся один из двух Мировых центров данных МГГ — МЦД-Б2, куда поступали материалы многочисленных наблюдений со всего мира, которые использовались для научных исследований. В 1971 г. этот Центр был передан в ведение Межведомственного геофизического комитета.

С запуском первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) и началом космической эры институт оказался у истоков научного направления, которое сегодня мы называем фундаментальными космическими исследованиями [6]. Сразу после запуска первого спутника президент АН СССР М.В. Келдыш попросил В.А. Котельникова рассмотреть вопрос о том, нельзя ли получить какие-нибудь научные результаты с помощью спутника. В.А. Котельников обратился в ИЗМИРАН к Я.Л. Аль-

перту, который сделал это, используя сигнал радиомаяка спутника для изучения внешних слоёв ионосферы при радиозатменных наблюдениях при восходе и заходе спутника за горизонт. Это был первый в мире научный космический эксперимент [7–9].

Необходимо также отметить, что ещё до запуска первого спутника сотрудником ИЗМИРАН тех лет А.В. Гуревичем [10] были выполнены первые теоретические расчёты взаимодействия металлического спутника с разреженной ионосферной плазмой и получены распределения плотности и электрического потенциала в окрестности спутника, которые являлись важными для постановки и интерпретации различных спутниковых экспериментов и легли в основу последующих более детальных исследований по этой проблеме [11–13].

В 1958 г. на третьем ИСЗ был осуществлён первый в мире магнитный эксперимент в космосе и проведены первые сопоставления космических измерений с результатами моделей геомагнитного поля, а также анализ поля Восточно-Сибирской магнитной аномалии и получены данные о возможности использования геомагнитного поля для определения ориентации космического аппарата [14, 15]. За эти исследования Н.В. Пушкову и руководителю магнитной лаборатории института Ш.Ш. Долгинову вместе с С.Н. Верновым и А.Е. Чудаковым из МГУ была присуждена Ленинская премия, первая в области космических исследований. В последующие годы спутниковые магнитные измерения были проведены в магнитосфере Земли, межпланетной среде, вблизи Луны, Венеры, Марса и получена информация о магнитных полях этих объектов.

В 1959 г. институт переводится в систему Академии наук СССР и получает теперешнее своё название ИЗМИРАН. Основанием для этого явились активная научная деятельность института в период МГГ, его важная роль в космических исследованиях, заметный вклад в общее направление работ, высокий научный потенциал института. На годичном собрании Академии наук 1960 г. президент Академии наук А.Н. Несмеянов во вступительной речи сказал, что Академия пополнилась ещё одним научным учреждением — Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн со своим ценным "придамым" — Ленинской премией.

Большую роль сыграл ИЗМИРАН в создании сети комплексных магнитно-ионосферных станций в различных регионах страны и выработке единых рекомендаций по проведению соответствующих наблюдений. К 1960-м годам в СССР действовало 37 магнитных обсерваторий и 35 ионосферных станций. В.Н. Бобровым был разработан универсальный кварцевый магниточувствительный элемент (датчик), отличающийся высокими метрологическими параметрами. На его основе В.Н. Бобровым совместно с кварцеводом Н.Д. Куликовым была создана большая серия кварцевых магнитометрических датчиков и приборов. Этими приборами были оснащены многие магнитные отечественные обсерватории, а также обсерватории более чем 20 стран мира. В эти же годы в институте создаётся первая серийная отечественная автоматическая ионосферная станция (АИС), которая более 50 лет успешно работала в ряде комплексных обсерваторий страны и ряде зарубежных обсерваторий, на кораблях АН СССР и на станции "Восток" в Антарктиде.

К числу научных приоритетов института, помимо космических исследований, несомненно, относится уста-



Рис. 7. Яков Исаакович Фельдштейн.

новление Я.И. Фельдштейном формы области полярных сияний, так называемого аврорального овала [16], или овала Фельдштейна (рис. 7, 8), что получило мировое признание.

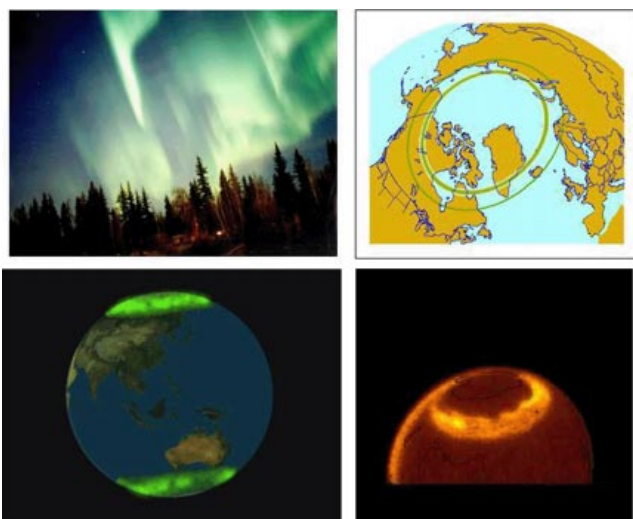


Рис. 8. Овал полярных сияний, впервые открытый Я.И. Фельдштейном.

В 1960-х годах институт заметно увеличил масштабы исследований как геомагнитного поля, так и околоземного космического пространства, произошло укрепление его материально-технической и научно-организационной базы. Образовано Специальное конструкторское бюро физического приборостроения (СКБ ФП), в котором создаётся целая серия уникальных приборов — магнитовариационных станций, ионозондов, а также несколько разработанных Г.М. Никольским самых крупных в мире внеатомных солнечных коронографов, успешно использовавшихся для наблюдений Солнца в обсерваториях страны и за рубежом.

В 1965 г. была образована Калининградская комплексная магнитно-ионосферная обсерватория (КМИО) вблизи города Ладушкина Калининградской области, которая является самой западной точкой наблюдений. Сегодня КМИО входит в состав Калининградского филиала ИЗМИРАН.

В 1966 г. по инициативе Н.В. Пушкова и под его председательством в составе Отделения общей физики и астрономии Академии наук СССР был образован Научный совет по физике солнечно-земных связей (Совет Солнце–Земля), действующий по настоящее время. Задачей Совета Солнце–Земля является координация работ в стране по солнечно-земной физике, осуществление международной кооперации. В тот же период Э.И. Могилевским был создан солнечный вектор-магнитограф, который впервые в мире позволил одновременно измерять все компоненты магнитного поля в активных областях на Солнце, введён в строй нейтронный супермонитор — детектор повышенной чувствительности для регистрации вариаций космических лучей, и такими мониторами была укомплектована вся советская сеть станций космических лучей, а сама сеть была дополнена новыми станциями. В 1960-х годах в институте была разработана полевая магнитная вариационная станция (ИЗМИРАН-4), получившая широкое распространение как в СССР, так и за рубежом, — около 400 экземпляров этой станции были размещены во многих точках земного шара.

1960-е–1970-е и последующие годы явились для ИЗМИРАНа годами "Большого взрыва" в космической науке (рис. 9). Институт принимает участие во многих космических проектах, проводя исследования ионосферы, магнитного поля Земли, Луны и планет, исследования Солнца. В результате этих исследований изучены локальные свойства ионосферы, выполнена Мировая магнитная съёмка, охватившая 75 % земной поверхности, и внесён вклад в создание первой Международной аналитической модели геомагнитного поля, получены также многие другие результаты [6, 17].

С началом пилотируемых космических полётов (1961 г.) институт принимает участие в обеспечении радиационной безопасности космонавтов на основе наблюдений Солнца, прогнозирования солнечных вспышек и их последствий в околоземном космическом пространстве. Участие института в разработке и реализации комплексных научных программ становится одной из характерных особенностей его деятельности. В 1960-х годах ИЗМИРАН принимает деятельное участие в программах "Международный год спокойного Солнца" и "Международный год активного Солнца".

В 1969 г. по состоянию здоровья Н.В. Пушков просит президиум Академии наук освободить его от обязаннос-



Рис. 9. Космические исследования ИЗМИРАН.

тей директора и новым директором ИЗМИРАН становится профессор МГУ, непосредственный ученик Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, В.В. Мигулин (рис. 10), известный радиофизик, впоследствии член-корреспондент и академик [18–20]. К этому времени с 1940 г. коллектив института вырос в девять раз, в



Рис. 10. Владимир Васильевич Мигулин (1911 – 2002).

ИЗМИРАН работало примерно 900 сотрудников, а в СКБ ИЗМИРАН — 360.

С приходом В.В. Мигулина дальнейшее развитие получают работы по радиофизическим исследованиям ионосферы с использованием современных разработанных институтом установок (Цифровая ионосферная станция "Сойка-600", Ионосферная станция "Базис" (ионозонд), Многочастотная радиофизическая установка, Экспериментальная установка многочастотного фазового зондирования ионосферы и др.), которые позволили провести детальные исследования ионосферных процессов, условий распространения радиоволн и эффектов взаимодействия мощного радиоизлучения нагретых стенов с ионосферной плазмой.

В 1970-х годах институт принимал широкое участие в активных экспериментах в космосе с использованием ракет, которые осуществлял Институт космических исследований (ИКИ РАН). В этих экспериментах были изучены физические явления, возникающие при инжекции в ионосферу с борта ракеты электронных пучков и плазменных струй, наблюдалось искусственное полярное сияние [21]. В этот период ИЗМИРАН принимает также участие в международных программах "Международные исследования магнитосферы" и "Год солнечного максимума". Во время полёта космических кораблей "Союз" и "Аполлон" Г.М. Никольским был успешно осуществлён первый внеатмосферный эксперимент по наблюдению искусственного солнечного затмения, в котором удалось наблюдать солнечную корону на большом удалении от Солнца и установить распределение яркости короны вдоль эклиптики на больших расстояниях от Солнца.

В космических исследованиях ИЗМИРАН следует отметить наиболее значимый отечественный космический проект по изучению ионосферы — "Интеркосмос-19" (1979–1982 гг.), который осуществлял зондирование ионосферы сверху. Были выполнены исследования над обширной территорией земного шара и получен огромный объём данных, который продолжает обрабатываться и анализироваться до настоящего времени, обнаружены эффекты землетрясений в ионосфере [22].

В 1980-х годах ионосферные исследования были продолжены на целом ряде других спутников. В эти годы институт принимал также участие в космических экспериментах "Вега-1" и "Вега-2" по изучению кометы Галлея, в которых были получены оригинальные материалы по электромагнитным волновым процессам в околоземной области и проведены измерения магнитного поля вблизи кометы [23]. Была выполнена также уникальная серия измерений магнитного поля в окрестности планеты Марс на космическом аппарате "Фобос-2" [24].

С 1969 г. в институте работает теоретический отдел. Первое время им руководил известный теоретик, профессор В.И. Карпман. За многие годы теоретиками института изучены нелинейные волновые явления в физике космической плазмы и радиофизике, коллективные процессы при генерации и распространении радиоволн в ионосфере, плазменные эффекты, возникающие при проведении активных экспериментов, и другие явления в смежных областях исследований, включая астрофизику и ядерную физику [25, 26].

В 1989 г. директором ИЗМИРАН становится профессор В.Н. Ораевский (рис. 11). Под его руководством реализуется проект "Активные плазменные эксперименты в космосе" (АПЭКС) с инжекцией пучков заряженных частиц в магнитосферную плазму [27], а также им совместно с И.И. Собельманом из ФИАН была начата программа КОРОНАС (Комплексные орбитальные околоземные наблюдения активности Солнца) по изучению Солнца и воздействий солнечной активности на около-

земное космическое пространство [28]. За проекты АПЭКС и КОРОНАС-Ф сотрудники ИЗМИРАН получили Государственную премию и Премию правительства РФ.

В последнее время ИЗМИРАНОм в кооперации проведена серия экспериментов с нагревным стендом "Сура" с использованием оптических наблюдений с борта российского сектора Международной космической станции (МКС), в которых получены указания на возможность инициирования магнитной суббури при нагреве ионосферы радиоволнами и, таким образом, управления характеристиками геофизической среды [29]. Реализован и подготовлен ряд других экспериментов на борту МКС.

Сегодня непрерывные наблюдения геомагнитного поля и ионосферы ведутся в обсерваториях института в Москве (Троицк), вблизи С.-Петербурга, Калининграда и Владикавказа, наблюдательном пункте в Карпгорах Архангельской области, на станциях космических лучей. Эти наблюдения интегрируются в российскую и международную сеть наблюдений и используются для проведения научных исследований, для изучения и контроля космической погоды.

Уникальными являются геомагнитные исследования на баллонах с использованием градиентного метода измерений вдоль протяжённой трассы — от Камчатки до Урала, — в результате которых изучены магнитные аномалии и получены ценные данные для уточнения современных моделей магнитного поля Земли [30].

Движения магнитных полюсов Земли, которые важны не только сами по себе, но и для магнитной навигации и изучения климата Земли, непрерывно контролируются и анализируются магнитологами института с использованием всех доступных магнитных данных [31]. Переполосовка магнитного поля Земли (при которой северный и южный магнитные полюсы меняются местами), много раз происходившая в прошлом, сегодня также находится в сфере пристального внимания магнитологов ИЗМИРАН. Сегодня информация о магнитном склонении по-прежнему востребована многими ведомствами страны (авиация, военные и кадастровые ведомства, геодезия, картография, нефтяные компании и т.д.). В планах с 2016 г. в рамках программы "Геофизический мониторинг территории РФ" предусмотрена генеральная магнитная съёмка с участием ИЗМИРАН и других организаций.

В области космических исследований институт в рамках широкой кооперации участвует сегодня в подготовке комплекса научной аппаратуры для космического проекта "Интергелиозонд" по исследованию Солнца и солнечных источников космической погоды [32]. Институт ведёт работы по этому приоритетному проекту начиная с 1995 г. В проекте впервые предполагается провести непрерывные внеэкваториальные наблюдения приполярных областей Солнца для изучения солнечного динамо и солнечного цикла, а также выполнить ряд уникальных научных экспериментов (рис. 12).

ИЗМИРАН осуществляет широкое международное сотрудничество с различными научными организациями и союзами, принимает участие в реализации ряда международных программ и проектов. Когда В.В. Мигулин стал директором института и ознакомился с его тематикой, он в шутку сказал: "ИЗМИРАН — это как универмаг, здесь есть всё". Астрономия и астрофизика, солнечно-земная физика и геофизика, физика плазмы и



Рис. 11. Виктор Николаевич Ораевский (1935 – 2006).

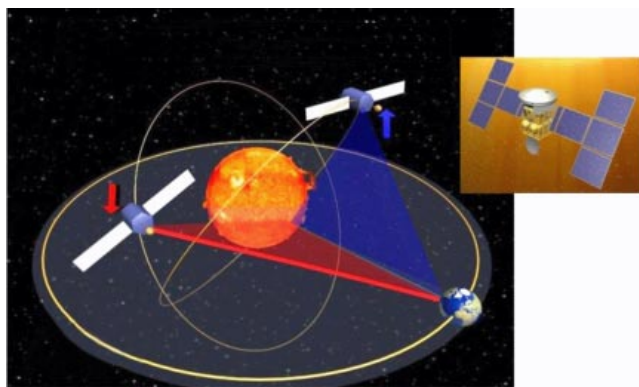


Рис. 12. Проект "Интергелиозонд" для исследований Солнца и внутренней гелиосферы, в котором принимают участие ИКИ РАН, ИЗМИРАН, ФИАН, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Научно-исследовательский радиофизический институт.

радиофизика, физика высоких энергий и космических лучей — это разделы науки, которые в той или иной мере присутствуют в тематике исследований института. В связи с этим широк и круг сотрудничества — IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy), COSPAR (Committee on Space Research), SCOSTEP (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics), MAC (Международный астрономический союз), URSI (International Union of Radio Science) и другие международные организации.

Сегодня актуальность научной проблематики, с которой связан ИЗМИРАН, возрастает, она становится всё более востребованной и с практической точки зрения. Это связано с расширением наземных и космических технологий и инфраструктур, которые в силу их масштаба становятся уязвимыми по отношению к факторам космической погоды [33], а ИЗМИРАН — это наука космической погоды, которую нужно изучать, контролировать и предсказывать. Задача института сегодня — реализовать эти возможности, использовать их для сохранения и развития института и продолжения научных исследований.

Созданный в институте Центр прогнозов космической погоды сегодня предоставляет информацию в организации космической отрасли — в Центр управления полётами и для космодромов, в медицинские учреждения, нефтяные и газовые компании, средства массовой информации. Информация о прогнозах космической погоды ежедневно сообщается по центральному телевидению. Достижения в изучении солнечной активности и магнитного поля Земли используются для разработки методик прогнозирования и повышения его надёжности и в конечном счёте для смягчения воздействий солнечной активности и факторов космической погоды на наземную и космическую деятельность.

Сегодня традиционные научные направления деятельности института — магнетизм Земли и планет, ионосфера и распространение радиоволн, солнечно-земная физика, научное приборостроение — пополняются новым содержанием, опираются на новые экспериментальные данные наземных и космических наблюдений, современные тенденции их развития постоянно отслежи-

ваются сотрудниками института. Институт обладает достаточно высоким научным потенциалом и большим опытом для выполнения возложенных на него задач, хотя, конечно, проблемы привлечения молодого пополнения в нынешней ситуации остаются актуальными.

По результатам многолетних исследований к 75-летию института подготовлена книга *Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли*, которая является продолжением книги, изданной к 50-летию института 25 лет назад [34].

ИЗМИРАН был основателем научного поселения, которое сегодня является г. Троицком, наукоградом, и эта, теперь уже почётная, роль института в создании научного городка неразрывно связана с историей самого Троицка. Многие участки земли и здания института были отданы под развитие города и других институтов. Сегодня, как и ранее в истории магнитных измерений, институту предстоит решать вопрос о переносе магнитной обсерватории, которая носит имя "Обсерватория Москва", в более отдалённое место, где нет трамваев и других помех для магнитных измерений.

5. Заключение

За 75 лет своей деятельности ИЗМИРАН прошёл несколько ступеней развития, превратившись из отраслевого института в современный научно-исследовательский институт Российской академии наук. Во многом это было обусловлено востребованностью и актуальностью научной проблематики ИЗМИРАН, его активной и многонаправленной научной деятельностью на протяжении многих лет, вкладом в зарождавшиеся космические исследования и в общее направление тематических работ, а также высоким научным потенциалом института.

В области геомагнетизма институтом создана многочисленная серия магнитометрической аппаратуры для изучения магнитного поля Земли и его вариаций, выполнены первые в мире магнитные измерения в космосе. Институт принимал самое активное участие в создании отечественной сети магнитно-ионосферных обсерваторий, включая станции в Арктике и Антарктиде. При непосредственном участии ИЗМИРАН создались другие институты близкого тематического профиля.

Институтом на основе разработанных радиофизических установок проведены комплексные экспериментальные исследования ионосферы и условий распространения радиоволн, созданы теоретические модели, позволившие понять основные физические закономерности взаимодействия радиоволн с ионосферой, важные для целого ряда практических применений. В серии космических ионосферных проектов, от первого ИСЗ до специализированных спутников ("Интеркосмос-19"), изучены глобальные и локальные свойства ионосферы, ионосферные эффекты литосферных процессов и антропогенной деятельности.

В области солнечно-земной физики институтом разработаны и созданы коронографы, телескопы, магнитографы, радиоспектрографы, детекторы космических лучей, позволившие изучить активные процессы на Солнце, их влияние на магнитное поле Земли и состояние ионосферы. При головной роли ИЗМИРАН реализованы первые отечественные комплексные солнечные космические проекты (КОРОНАС-И, КОРОНАС-Ф), заложив-

шие прочный фундамент кооперации институтов в этой области. В настоящее время в стадии подготовки с участием широкой кооперации российских и зарубежных институтов находится масштабный солнечный космический проект "Интергелиозонд", разработанный ИЗМИРАН. Результаты исследований в этой области находят практическое применение в изучении и предсказании космической погоды, оказывающей всё большее воздействие на наземную и космическую инфраструктуру общества в связи с возрастанием масштабности этой инфраструктуры.

Сегодня ИЗМИРАН, как и многие другие научные институты, продолжает жить и работать уже в рамках Федерального агентства научных организаций, оставаясь неразрывно связанным с Российской академией наук.

Список литературы

1. Распопов О М и др. *История наук о Земле* **2** (2) 18 (2009)
2. Simonoff I M J. *Reine Angew. Math.* **16** 197 (1837)
3. Симонов И М "О земном магнетизме", в кн. Гаусс К Ф *Избранные труды по земному магнетизму* (М.: Изд-во АН СССР, 1952) с. 245
4. Gauss C F *Resultate aus den Beobachtung des magnetischen Vereins im Jahre 1838* Bd. 1 (Göttingen: Dieterichsche Buchhandlung, 1839)
5. Крылов А Н *О земном магнетизме* (Петроград: Ред.-изд. отд. Морск. ком., 1922)
6. Кузнецов В Д *УФН* **180** 554 (2010); Kuznetsov V D *Phys. Usp.* **53** 528 (2010)
7. Альперт Я Л *УФН* **64** 3 (1958)
8. Альперт Я Л и др. *УФН* **65** 161 (1958)
9. Alpert Y *Making Waves: Stories from My Life* (New Haven: Yale Univ. Press, 2000)
10. Гуревич А В *Труды ИЗМИРАН* **17** (27) 173 (1960)
11. Гуревич А В *Искусственные спутники Земли* (7) 101 (1961)
12. Альперт Я Л, Гуревич А В, Питаевский Л П *УФН* **79** 23 (1963); Al'pert Ya L, Gurevich A V, Pitaevskii L P *Sov. Phys. Usp.* **6** 13 (1963)
13. Альперт Я Л, Гуревич А В, Питаевский Л П *Искусственные спутники в разреженной плазме* (М.: Наука, 1964); Al'pert Ya L, Gurevich A V, Pitaevskii L P *Space Physics with Artificial Satellites* (New York: Consultants Bureau, 1965)
14. Долгинов Ш Ш, Жузгов Л Н, Пушков Н В *Искусственные спутники Земли* (2) 50 (1958)
15. Долгинов Ш Ш, Пушков Н В, в сб. *Успехи СССР в исследовании космического пространства* (Гл. ред. А А Благонравов) (М.: Наука, 1968) с. 173
16. Фельдштейн Я И, в кн. *Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли* (Отв. ред. В В Мигулин) (М.: Наука, 1989) с. 108
17. Кузнецов В Д *УФН* **180** 988 (2010); Kuznetsov V D *Phys. Usp.* **53** 947 (2010)
18. Гуляев Ю В *УФН* **182** 323 (2012); Gulyaev Yu V *Phys. Usp.* **55** 301 (2012)
19. Вятчанин С П *УФН* **182** 324 (2012); Vyatchanin S P *Phys. Usp.* **55** 302 (2012)
20. Кузнецов В Д *УФН* **182** 327 (2012); Kuznetsov V D *Phys. Usp.* **55** 305 (2012)
21. Ораевский В Н, Мишин Е В, Ружин Ю Я, в кн. *Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли* (Отв. ред. В В Мигулин) (М.: Наука, 1989) с. 77
22. Карпачев А Т, в кн. *Энциклопедия низкотемпературной плазмы Т. 1–3 Ионосферная плазма Ч. 1* (Под ред. В Д Кузнецова, Ю Я Ружина) (М.: Янус-К, 2008) с. 381
23. Riedler W et al. *Nature* **321** 288 (1986)
24. Riedler W et al. *Nature* **341** 604 (1989)
25. Карпман В И, в кн. *Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли* (Отв. ред. В В Мигулин) (М.: Наука, 1989) с. 162
26. Кузнецов В Д *Геомагнетизм и аэронавтика* **49** 723 (2009); Kuznetsov V D *Geomagn. Aeronom.* **49** 691 (2009)
27. Oraevsky V N, Triska P *Adv. Space Res.* **13** (10) 103 (1993)
28. Кузнецов В Д (Ред.) *Солнечно-земная физика: Результаты экспериментов на спутнике КОРОНАС-Ф* (М.: Физматлит, 2009) с. 34; Kuznetsov V D (Ed.) *The CORONAS-F Space Mission. Key Results for Solar Terrestrial Physics* (New York: Springer, 2014)
29. Ружин Ю Я и др. *Геомагнетизм и аэронавтика* **53** (1) 46 (2013); Ruzhin Yu Ya et al. *Geomagn. Aeronom.* **53** 43 (2013)
30. Цветков Ю П и др. *Докл. РАН* **436** 262 (2011); Tsvetkov Yu P et al. *Dokl. Earth Sci.* **436** 117 (2011)
31. Зверева Т И *Геомагнетизм и аэронавтика* **52** (2) 278 (2012); Zvereva T I *Geomagn. Aeronom.* **52** 261 (2012)
32. Кузнецов В Д, в сб. *Проект Интергелиозонд. Труды рабочего совещания, Таруса, 11–13 мая 2011 г.* (Под ред. В Д Кузнецова) (М.: ИЗМИРАН, 2012) с. 5
33. Bothmer V, Daglis I A *Space Weather: Physics and Effects* (Berlin: Springer, 2007)
34. Мигулин В В (Отв. ред.) *Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли* (М.: Наука, 1989)

N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences (IZMIRAN) yesterday, today, tomorrow

V.D. Kuznetsov

N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaluzhskoe shosse 4, 142190 Troitsk, Moscow, Russian Federation
Tel. + 7 (495) 851 01 20. Fax + 7 (495) 851 01 24
E-mail: kvd@izmiran.ru

The paper describes the basic and applied research motivations for the creation of IZMIRAN and provides insight into the 75 years of the Institute's activities and development. Historically, the early magnetic measurements in Russia were developed largely to meet the Navy's navigation needs and were, more generally, stimulated by the Peter the First's decrees and by the foundation the St. Petersburg Academy of Sciences in 1724. The paper examines the roles of the early Academicians in developing geomagnetism and making magnetic measurements a common practice in Russia. The need for stable radio communications prompted ionospheric and radio wave propagation research. The advent of the space era and the 1957–1958 International Geophysical Year Project greatly impacted the development of IZMIRAN and spurred the creation of a number of geophysical research institutes throughout the country. Currently the research topics at IZMIRAN range widely from geomagnetism to solar-terrestrial physics to the ionosphere and radio wave propagation, and its primary application areas are the study and forecast of space weather, an increasingly important determining factor in the ever-expanding ground- and space-based technologies (space navigation and communications, space activities, etc.).

Keywords: geomagnetism, ionosphere, radio wave propagation, solar-terrestrial physics

PACS numbers: 01.10.Fv, **01.65.+g**, **91.25.-r**, 94.05.Sd, **94.20.-y**
Bibliography — 34 references
Uspekhi Fizicheskikh Nauk **185** (6) 632–642 (2015)

DOI: 10.3367/UFN.0185.201506g.0632
Received 19 March 2015
Physics – Uspekhi **58** (6) (2015)