



# 300

N



S

## ИЗМИРАН к 300-летию РАН



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова  
Российской академии наук

### 2024



В предлагаемой подборке материалов, подготовленных ИЗМИРАН к празднованию 300-летию Российской академии наук, большая часть статей и заметок выставлялись на новостном сайте Президиума РАН, о чем даны соответствующие ссылки. Также добавлено краткое описание успешного космического проекта КОРОНАС-Ф, в осуществлении которого принимали участие многие российские научные организации.

## Оглавление

Петр I и истоки геомагнитных исследований в России .....	3
Спутник и Первый в мире научный космический эксперимент .....	8
Космические исследования Солнца и солнечно-земных связей - одно из важных направлений научных исследований современной истории РАН .....	11
120 лет Николаю Васильевичу Пушкинову основателю ИЗМИРАН и Совета «Солнце - Земля» .....	18
Прогнозирование космической погоды как важный элемент устойчивого функционирования человеческой деятельности на Земле и в космосе .....	25
Арктика и Антарктика в разрезе: в таянии льдов виноват не только климат, но и недра Земли .....	28
Ультранизкочастные электромагнитные поля – источник информации о предстоящем землетрясении .....	34
Совместные Российские геофизические обсерватории .....	38

## Петр I и истоки геомагнитных исследований в России

Одной из фундаментальных проблем геофизики является изучение магнитного поля Земли. Знания о магнитном поле необходимы для исследования строения ядра, мантии, коры, литосферы, гидросферы и атмосферы Земли. Эти же знания необходимы при решении важнейших прикладных задач обеспечения безопасности важных элементов современной инфраструктуры - линий электроснабжения, трубопроводов, железных дорог, искусственных спутников Земли. Магнитное поле играет важную роль и для решения актуальных задач экономического развития нашей страны. К ним, в частности, относятся навигация на море и на суше, определение ориентации спутников, бурение скважин для добычи нефти и газа.

В России начало изучения геомагнитного поля относится к эпохе Петра I (1672-1725) и связано с развитием отечественного флота и морской навигации.



1724 год - Указ Петра I о создании Академии наук.

Указом Петра I всем капитанам и командирам кораблей во время плавания вменялось в обязанность выполнять измерения магнитного склонения. Им же были написаны первые инструкции для морского флота "По практическому применению и обращению с компасами". Создание и развитие морского флота, становление России как морской державы, требовало подготовки собственных, российских, образованных специалистов. Важным шагом в развитии геомагнитных исследований в России был Указ Петра I об учреждении в 1724 г. Петербургской Академии наук. На первом же торжественном публичном заседании Академии 27 декабря 1725 г., наука о земном магнетизме была отнесена Академией к числу наиболее важных наук.

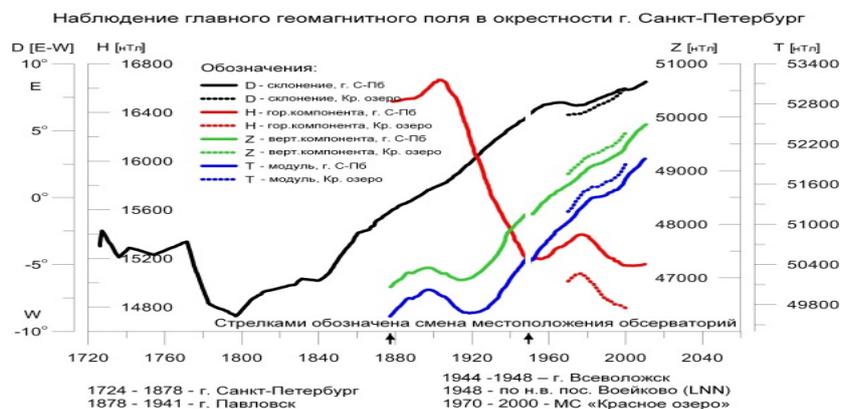


Рис. 1. Изменение магнитного поля в Санкт-Петербурге с момента начала наблюдений в 1726 году.

Начатые в 1726 г. по распоряжению Петра I систематические наблюдения магнитного склонения не прерывались и представляют собой один из наиболее длинных рядов наблюдений в Европе (рис.1). Первоначально обсерватория была установлена вблизи Петропавловской крепости, затем после создания Главной физической обсерватории на Васильевском острове наблюдения были перенесены туда. Однако с развитием города уровень магнитных помех сильно возрос и встал вопрос о переносе наблюдений (к слову сказать, аналогичная ситуация сложилась в настоящее время с обсерваторией Москва) и в 1876 г. была заложена Павловская обсерватория. При этом уже тогда (как и сейчас) возникла проблема с выделением участка под строительство и Великий Князь Константин Николаевич, брат императора Александра II, отвел под обсерваторию в своём Павловском парке участок земли в 6 десятин (примерно 11 гектар). По этой причине Павловскую обсерваторию часто называли Константиновской. Обсерватория успешно развивалась. В 1881 г. журнал «Нива», в частности, писал: «Наша Главная Физическая обсерватория, вместе с подчиненной обсерваторией в городе Павловске, занимает в настоящее время по полноте и точности магнитных и метеорологических наблюдений и обработке наблюдений, посылаемых со 150 станций, одно из первых, если не первое место в Европе». Во время Великой Отечественной войны обсерватория была полностью разрушена и после войны восстановлена в поселке Сельцы (сейчас п. Воейково), называется Воейковской магнитной обсерваторией и принадлежит Санкт-Петербургскому филиалу ИЗМИРАН.



**Академик Л.Эйлер  
(1707 - 1783)**

В Академии наук интерес ученых к геомагнетизму был столь 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 полюса, а затем и вычислить значения магнитного поля в любой точке земного шара. Академик Даниил Бернулли в 1741 г. получил премию Французской Академии наук за создание теории инклинометра, прибора для измерения величины наклона магнитного поля Земли, вопроса, чрезвычайно актуального 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.

Академик Даниил Бернулли в 1741 г. получил премию Французской Академии наук за создание теории инклинометра, прибора для измерения величины наклона магнитного поля Земли, вопроса, чрезвычайно актуального 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.



**Академик  
М.В.Ломоносов  
(1711 - 1765)**



**Почетный академик  
К.Ф.Гаусс  
(1777 - 1855)**

Заметный вклад в развитие учения о геомагнетизме внес Михаил Васильевич Ломоносов в своем труде «Рассуждение о большей точности морского пути». 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 вперед по сравнению с У.Гильбертом, считавшим поле Земли полем одного магнита с двумя полюсами, и предвосхитил идею К.Ф.Гаусса о произвольном намагничивании земного шара.



**Член-корреспондент  
И.М.Симонов  
(1794 - 1855)**

В 1835 г. членом-корреспондентом Петербургской академии Иваном Михайловичем Симоновым в работе «Опыт математической теории земного магнетизма» была предложена новая теория геомагнетизма, в рамках которой показано, что магнитное поле Земли, вызванное суммарным действием магнитных частиц, находящихся внутри нее, будет совпадать с полем диполя, если допустить, что частицы



**Академик  
А. фон Гумбольдт  
(1769 - 1859)**

распределены равномерно. 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, проф. Казанского университета Адольфа Яковлевича Купфера. Именно ему Академия наук поручила организовать сеть магнитных обсерваторий в стране.



**Профессор  
А.Я.Купфер  
(1799 - 1865)**

Таким образом, в первой половине XIX в. в России была создана сеть магнитных обсерваторий, охватившая огромное пространство от западных границ (Петербург, Гельсингфорс) до крайних восточных владений на Аляске (Ситка) и в Пекине (на территории русской миссии), обеспечившая в дальнейшем изучение вариаций геомагнитного поля в этих пунктах и его вековых изменений.

Привязка маршрутных определений магнитных компонент к ближайшим обсерваториям значительно повысила точность таких определений. Создание Главной Физической Обсерватории и сети обсерваторских наблюдений действительно стало достижением мирового масштаба. Французская газета «Siècle» 14 сентября 1849 г. писала: «...мы не замечаем, как иностранцы нас опережают в науках. Вот Россия основала без всякого шума Главную физическую обсерваторию, имеющую огромное значение; ничего подобного нет до сих пор нигде в Европе».

Геомагнитные исследования в России в последней четверти XIX и начале XX вв. не ограничивались только развитием и улучшением работы обсерваторской сети. В начале XIX века научились измерять не только склонение и наклонение геомагнитного поля, но и его напряженность. С 1870 г. на территории России наступает оживление работ по исследованию географического распределения элементов геомагнитного поля. В работу подключаются мореплаватели и гидрографы, военные топографы и геодезисты, Русское географическое общество, отдельные университеты и Российская академия наук.

Планомерная экспедиционная работа, поставившая своей задачей изучение магнитного поля в России, была осуществлена доцентом Казанского университета И.Н.Смирновым в 1871–1878 гг., который в течение 8 лет впервые производил измерения на специально разработанной им сети из 291 пункта, равномерно распределенных в европейской части России, Западной Сибири, Финляндии и на Кавказе. Он по существу заложил надежную сеть пунктов магнитных определений – основу для последующего изучения векового хода. Эта сеть позволила выявить ряд регионов с аномальным магнитным полем, в том числе и Курскую магнитную аномалию.



**Академик  
М.А.Рыкачев  
(1840 - 1919)**

Однако, число пунктов наблюдения для огромной территории России было очень мало и Российской академией наук в 1893 г. был разработан проект сплошной магнитной съемки Российской империи, но из-за социальных потрясений и постоянной нехватки финансовых средств его завершение было отодвинуто почти на полвека.



**Академик  
А.Н.Крылов  
(1863 - 1945)**

Ключевую роль в проведении генеральной магнитной съемки должна была сыграть Павловская обсерватория, так как еще в 70-х годах XIX века там были начаты разработка и изготовление магнитометрических приборов для

выполнения экспедиционных наблюдений. Были проведены испытания этих приборов в полевых условиях. Директор Павловской обсерватории академик М.А.Рыкачев, который, будучи одновременно и председателем Международной магнитной комиссии, в докладе «О магнитных съемках за границей и о продолжении магнитной съемки в России», отмечал: «Потребность в этом (т.е. в съемке) так велика, что если мы это не сделаем, то за нее примутся американцы. Но удобно ли, чтобы Российская Империя наравне с необитаемыми и дикими странами была исследована "Карнеги" на средства Магнитного департамента ("Карнеги" – немагнитная яхта, построенная в США в 1909 г. для научных исследований).

Наблюдения на таких пунктах продолжались до середины 1970-х годов, и в настоящее время важной задачей является восстановление этих наблюдений, а слова академика М.А.Рыкачева очень актуальны и сейчас.

В заключение отметим, что с развитием магнетизма в России помимо указанных выше имен, связаны и другие исторические фигуры. Так, лейтенант (будущий адмирал) А.Колчак участвовал в качестве магнитолога в полярной экспедиции Толя (1900 г.). В 1889-1891 гг. в Тифлисской магнитно-метеорологической обсерватории магнитологом работал И.В.Сталин. В 1916 г. директором ГФО был назначен известный математик, механик и кораблестроитель академик А.Н.Крылов, им была написана монография «Земной магнетизм».

<https://new.ras.ru/activities/news/k-300-letiyu-akademii-nauk-petr-i-i-istoki-geomagnitnykh-issledovaniy-v-rossii/>

## Спутник и Первый в мире научный космический эксперимент

Запуск Первого ИСЗ 4 октября 1957 года ознаменовал начало космической эры, всеми достоинствами которой мы сегодня пользуемся - от спутниковой связи и навигации до изучения Вселенной уникальными космическими телескопами. Это был не только исторический технологический прорыв в космос, но и начало фундаментальных научных космических исследований – с использованием радиомаяка Первого ИСЗ Земли был осуществлен первый в мире научный космический эксперимент - были выполнены исследования внешних слоев ионосферы и впервые получены уникальные сведения об их строении.

В 1957 году был запланирован Международный геофизический год (МГГ). Во всех странах по всему миру шла масштабная подготовка к участию в этом мероприятии – создавались обсерватории, шло оснащение их приборами, разрабатывались планы совместных международных наблюдений и т.д. Под руководством Сергея Павловича Королева создавался специальный научный спутник с набором приборов, который должен был стать первым научным спутником и важной составляющей советской программы участия в МГГ, но эти планы пришлось корректировать. В своей книге (Yakov Alpert. Making waves: stories from my life. Yale University Press. New Haven & London. 2000) Яков Львович Альперт (начальник отдела длинных радиоволн ИЗМИРАН) вспоминает события тех времен, когда, получив информацию о планах американцев по запуску их спутника, С.П.Королев откладывает изготовление большого спутника и делает Спутник ПС-1 (Простейший Спутник) с единственным прибором на борту - радиомаяком на частоте 20 МГц.

После запуска Спутника, как вспоминает Я.Л.Альперт, американские комментарии о том, что русские запустили «булыжник», чтобы быть первыми, были парированы научной программой, реализованной под руководством Я.Л.Альперта по инициативе Президента Академии наук СССР Мстислава Всеволодовича Келдыша, с которой к Я.Л.Альперту обратился вице-президент академик Владимир Александрович Котельников.

В эксперименте использовался факт задержки между оптическим и радио сигналами при уходе спутника за горизонт или при его выходе из-за горизонта по причине рефракции радиоволн в ионосфере. Когда спутник уходил за горизонт и его уже не было видно (свет распространяется в атмосфере практически по прямой), то радиосигнал его радиомаяка некоторое время продолжал приниматься, так как траектория радиолучей от спутника в ионосфере искривлена (см рис.1 , левая часть), при выходе спутника из-за горизонта соответственно радиосигнал появлялся раньше, чем спутник был

виден в оптике (см рис.1, правая часть). Таким образом, радиовосход и радиозаход спутника возникали соответственно раньше и позже оптического восхода и захода спутника за горизонт. Используя эту временную задержку между оптическим и радиосигналом и теорию распространения радиоволн в ионосферной плазме коллективом ученых под руководством Я.Л.Альперта были получены научные результаты по структуре ионосферы - сглаженное распределение электронной концентрации по высоте выше главного максимума ионосферы (УФН, т.65, вып.2, с.161-174, 1958. ДАН 120, 1958). Такое распределение было получено впервые, и оно показало, что электронная концентрация выше главного максимума ионосферы не спадает с высотой резко до нуля, как предполагалось до этого, а уменьшается плавно.

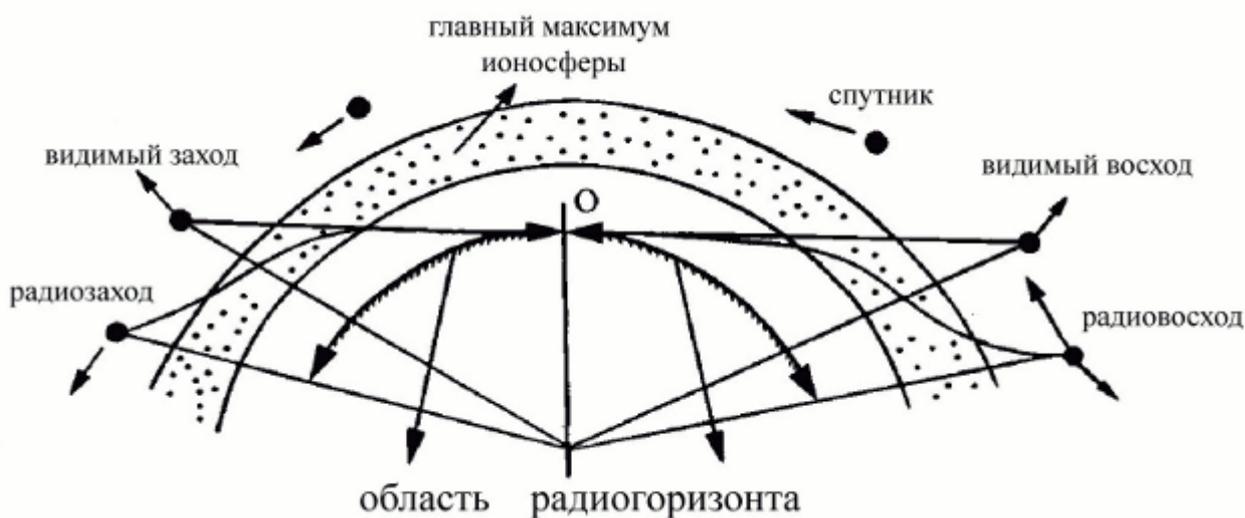


Рис. 1. Наблюдение радиовосхода и радиозахода Первого ИСЗ, которые возникали соответственно раньше и позже оптического восхода и захода спутника за горизонт из-за эффекта рефракции радиоволн в ионосфере.

Этот метод спутниковых радиозатменных и радиомаяковых исследований ионосферы в последствие был экспериментально и теоретически развит в ИЗМИРАН под руководством Я.Л.Альперта и нашел важнейшее практическое применение при разработке высокоточных спутниковых систем позиционирования (GPS и ГЛОНАСС).

Наряду с этим новым и весьма важным научным результатом наблюдения радиоволн на частоте 20 МГц от радиомаяка Первого ИСЗ позволили наблюдать Antipode Effect, предсказанный в 1952 г. немецким ученым В.Шуманом (W.Schumann. Propagation of Electromagnetic waves in the Earth-Ionosphere Wave Guide. Zeitschrift fur Naturforschung 7a, 149, 1952), который заключается в регистрации усиления интенсивности радиоизлучения в диаметрально противоположной точке Земли от положения источника радиоизлучения из-за эффекта его фокусировки в ионосфере.

Таким образом, с помощью Первого ИСЗ была выполнена полноценная научная программа по исследованию ионосферы Земли, обеспечившая приоритет первого в мире научного космического эксперимента.

Дальнейшее развитие фундаментальные космические исследования получили в целой серии научных спутников. В 1960 году за исследование радиационных поясов и магнитного поля Земли и Луны сотрудникам ФИАН и ИЗМИРАН была присуждена первая Ленинская премия в области фундаментальных космических исследований. Создание в 1963 году Института космических исследований позволило сделать фундаментальные космические исследования неотъемлемой частью отечественной науки и обеспечить их дальнейшее развитие в различных направлениях космической науки.

<https://new.ras.ru/activities/news/k-300-letiyu-rossiyskoy-akademii-nauk-pervyy-sputnik-i-pervyy-v-mire-nauchnyy-kosmicheskyy-eksperime/>

## **Космические исследования Солнца и солнечно-земных связей - одно из важных направлений научных исследований современной истории РАН**

Отмечая 300-летие Российской академии наук и ее огромный вклад в развитие знаний и познание окружающего мира за всю многолетнюю ее историю, несомненно, возникает желание отметить и выделить те из них, которые приходится на современную эпоху и которые демонстрируют неиссякаемый высокий потенциал самой академии и тенденции быть на переднем крае науки, развивать ее новые и перспективные направления.

С началом космической эры изучение космоса наряду с традиционными наземными астрономическими наблюдениями стало возможным на космических аппаратах, и во всех отношениях Российская академия наук играла здесь ключевую роль, касалось ли это космической техники или самих фундаментальных исследований космоса. Так, более чем 300-летний период научных исследований Солнца и солнечно-земных связей, начатых Галилеем и другими исследователями, был продолжен использованием солнечных космических телескопов и других наблюдательных средств, давшим существенный и качественный скачок в познании Солнца, его активности и ее воздействий на Землю. Измерения рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца, недоступные с поверхности Земли, частиц солнечного ветра, испускаемых из атмосферы Солнца и т.д., энергичных частиц от солнечных вспышек и других агентов солнечной активности, все это заметно расширило представления в нашем светиле, и за последние десятилетия наиболее значимые результаты в этой области были получены именно с помощью космических аппаратов. Заметный вклад в эту область исследований был внесен программой КОРОНАС (проекты КОРОНАС-И (1996-2001), КОРОНАС-Ф (2001-2005), КОРОНАС-ФОТОН (2009), реализованной в рамках Федеральной космической программы РФ, и наиболее удачным проектом КОРОНАС-Ф (рис.1), реализованным с участием широкой кооперации российских (ИЗМИРАН, ФИАН (в кооперации с ИПФ РАН, ИФМ РАН), ИКИ РАН, ФТИ РАН, НИИЯФ МГУ, МИФИ, ИПГ) и зарубежных организаций при головной роли РАН (ИЗМИРАН), и удостоенного премии Правительства РФ (2008). В рамках этого проекта был создан уникальный комплекс научной аппаратуры из 15 приборов (рис.2), измерительные диапазоны которых покрывали широкий спектр энергий и длин волн - от оптического до гамма. С его помощью были проведены исследования пространственно-временной структуры явлений солнечной активности, механизмов нагрева солнечной короны, зарегистрированы экстремальные события на Солнце на фазе спада 23 цикла солнечной

активности – мощнейшие вспышки и выбросы и сопутствующие им явления на Солнце и на Земле.



Рис.1. Спутник КОРОНАС-Ф на орбите (2001-2005).

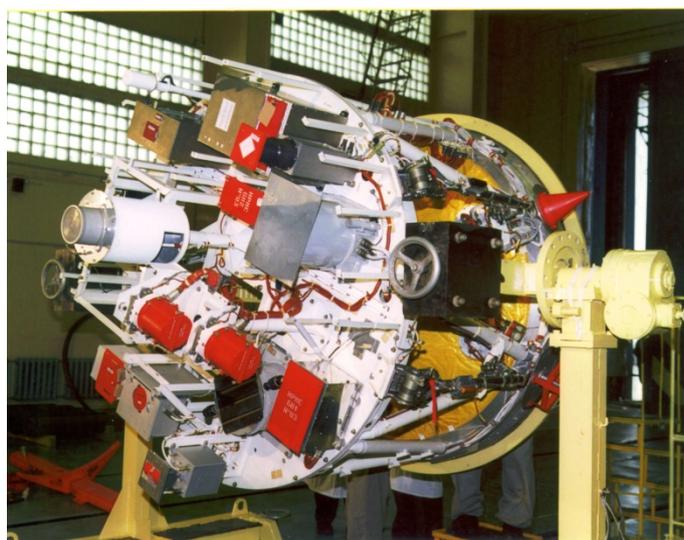


Рис.2. Комплекс научной аппаратуры проекта КОРОНАС-Ф.

На основе наблюдений не имеющим в мире аналога спектрогелиографом РЕС-К (ФИАН) в резонансной линии MgXII (8.42A) в солнечной короне был обнаружен и исследован целый класс новых явлений - быстродинамических плазменных образований с температурами до 20 млн. градусов (рис.3), которые связаны с выбросами массы из атмосферы Солнце, приводящими к возникновению магнитных бурь на Земле.

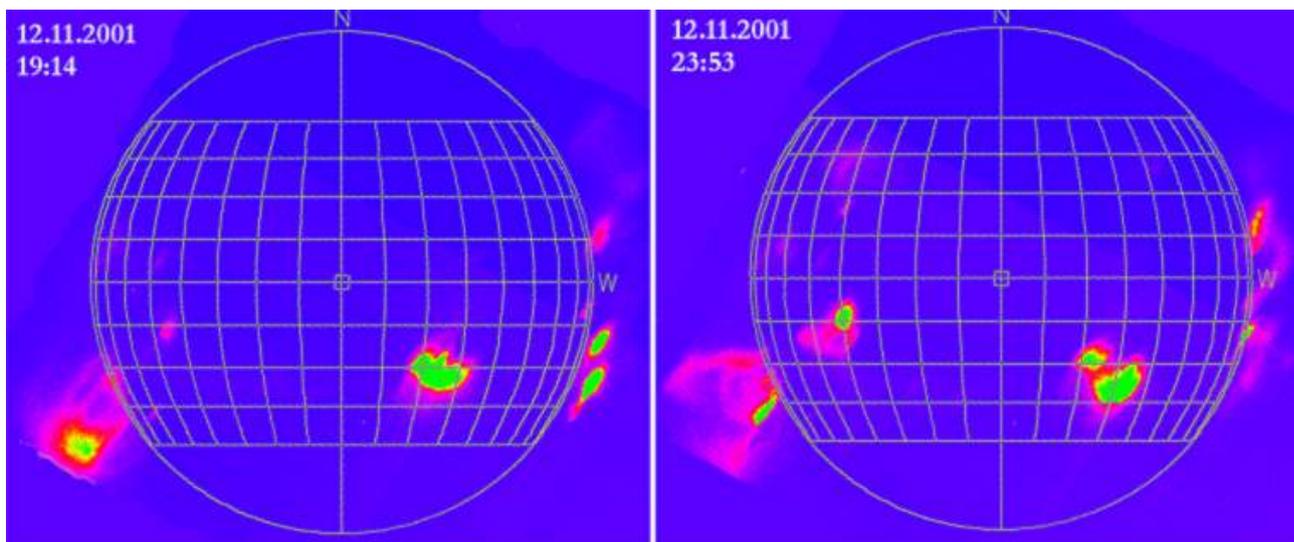


Рис.3. Сверхгорячие образования в солнечной короне, обнаруженные спутником КОРОНАС-Ф (ФИАН).

С использованием солнечного рентгеновского телескопа (ФИАН) изучена зависимость от уровня солнечной активности плотности и состава земной атмосферы, пропускание атмосферой Земли рентгеновского излучения Солнца (рис.4.).

## XUV images of the Sun for different altitudes and transmission of the Earth atmosphere

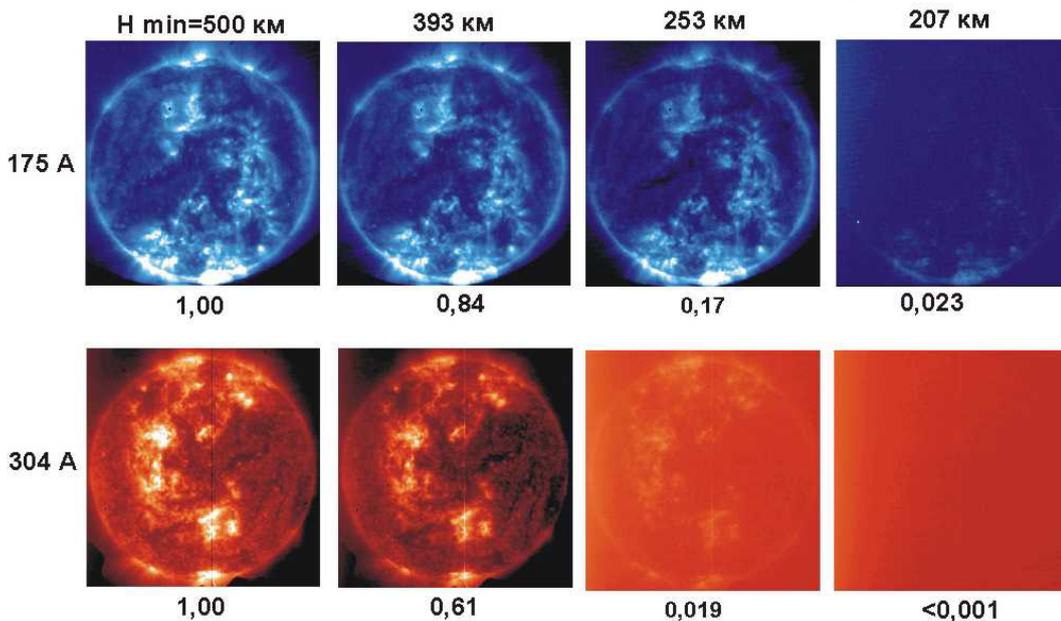


Рис.4. Пропускание земной атмосферой рентгеновского излучения Солнца в зависимости о высоты луча над поверхностью Земли (ФИАН).

Многоканальным спектрофотометром ДИФОС (ИЗМИРАН) зарегистрированы собственные моды (р-моды) глобальных колебаний Солнца в широком диапазоне длин волн (рис.5) и обнаружен существенный рост амплитуды колебаний в ультрафиолетовой части спектра (рис.6).

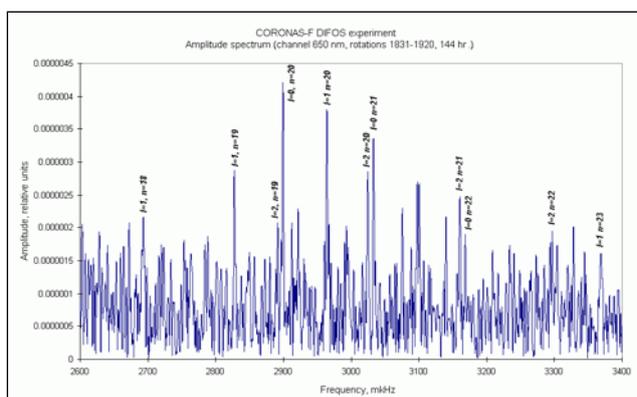


Рис.5. Амплитудный спектр мод глобальных колебаний Солнца (Спектрофотометр ДИФОС, ИЗМИРАН).

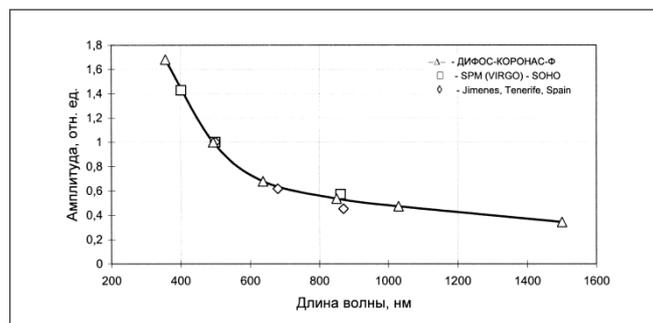


Рис.6. Рост амплитуды глобальных колебаний Солнца в ультрафиолетовом диапазоне (Спектрофотометр ДИФОС, ИЗМИРАН).

Рентгеновским спектрометром РПС-1 (ИКИ РАН) получены новые данные о нагреве солнечной короны и спектрах рентгеновского излучения (рис.7), воздействующего на атмосферу Земли.

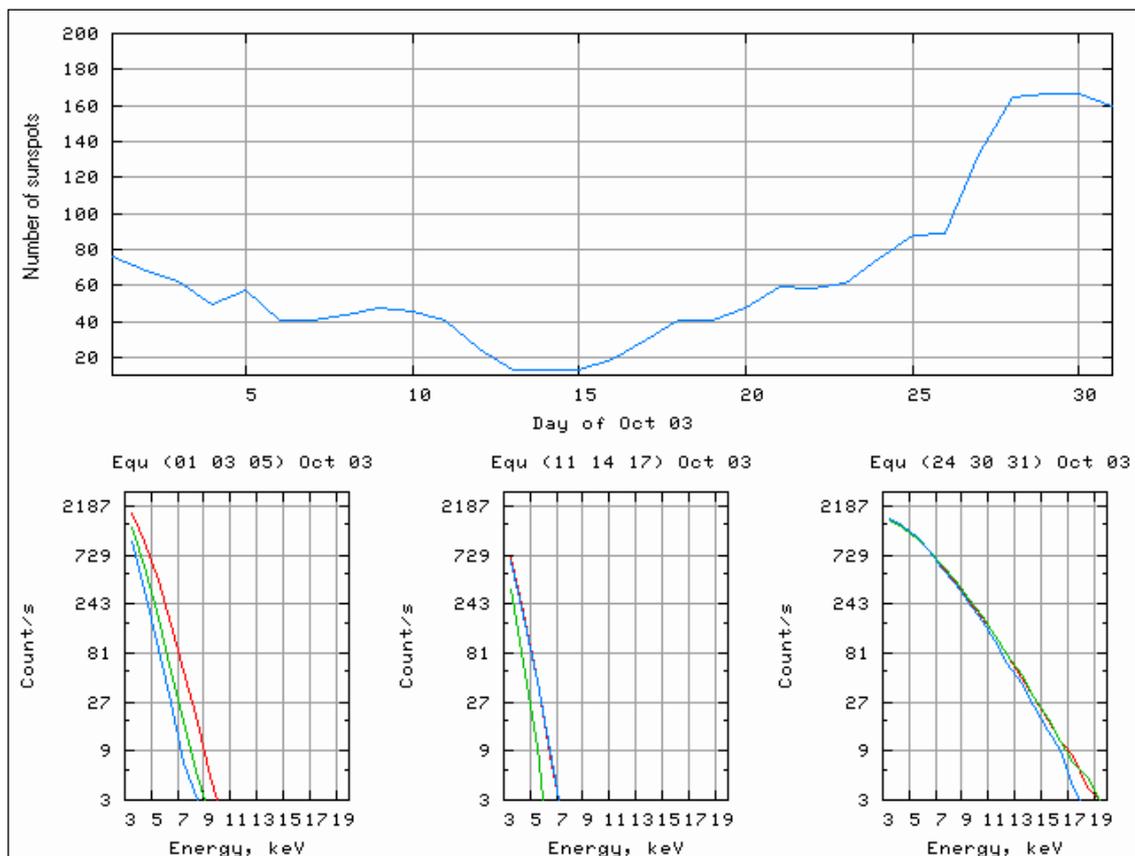


Рис.7.Рентгеновские спектры Солнца и их жесткость (внизу) в зависимости от числа солнечных пятен (вверху) (Рентгеновский спектрометр РПС-1, ИКИ РАН).

С помощью комплекса приборов (спектрометр гамма-излучения СОНГ, монитор космических лучей МКЛ, спектрометр космического излучения СКИ-3 (НИИЯФ МГУ) осуществлена регистрация высокоэнергичного гамма-излучения и потоков энергичных нейтронов у Земли от мощных вспышек октября-ноября 2003 года (рис.8), зафиксированы распадные процессы рожденных во вспышке пионов и мюонов, изучена динамика радиационных поясов Земли и проникновение энергичных солнечных частиц в магнитосферу в периоды сильных геомагнитных возмущений (рис.9).

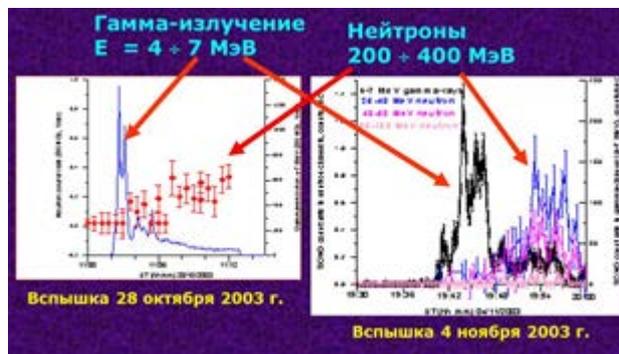


Рис.8.Регистрация гамма-излучения и потоков энергичных нейтронов у Земли от мощных вспышек октября-ноября 2003 года (НИИЯФ МГУ).

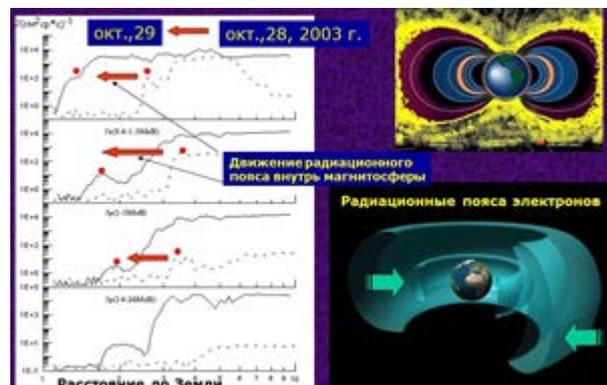


Рис.9.Динамика радиационных поясов Земли в периоды сильных геомагнитных возмущений (НИИЯФ МГУ).

По данным наблюдений вспышечным спектрометром ИРИС и гамма-спектрометром ГЕЛИКОН исследована импульсная фазы вспышек: получены динамические рентгеновские (рис.10) и гамма (рис.11) спектры, определены характерные периоды колебаний плазмы на разных стадиях вспышки, отражающие изменение физических условий в активной области.

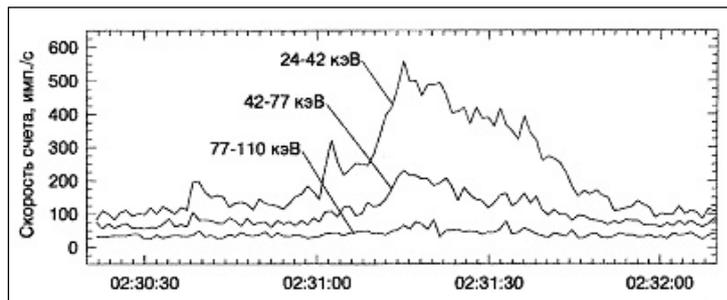


Рис.10.Временной профиль рентгеновского излучения солнечной вспышки () на импульсной фазе (Спектрометр ИРИС, ФТИ РАН).

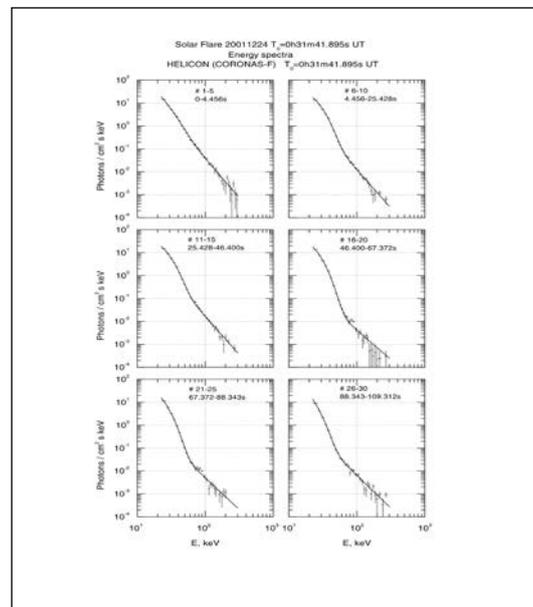


Рис.11.Динамические гамма-спектры солнечной вспышки (24.12.2001) на импульсной фазе (Гамма-спектрометр Геликон, ФТИ РАН).

Амплитудно-временным спектрометром АВС (МИФИ) изучены ускорительные и ядерные процессы в солнечных вспышках, зарегистрированы гамма-линии от ядерных реакций во вспышках (рис.12), по которым определено содержание в солнечной атмосфере различных химических элементов и их изотопов, определен первичный спектр ускоренных во вспышке протонов, изучены высыпания энергичных частиц из радиационных поясов Земли в атмосферу в приэкваториальных областях земного шара, которые характеризовались заметным увеличением фона радиации и длительным временем жизни (рис.13).

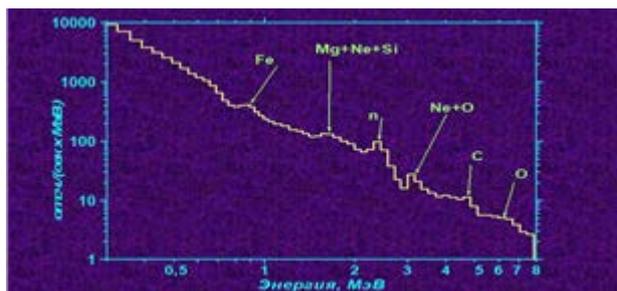


Рис.12.Ядерные гамма-линии от солнечных вспышек (МИФИ).

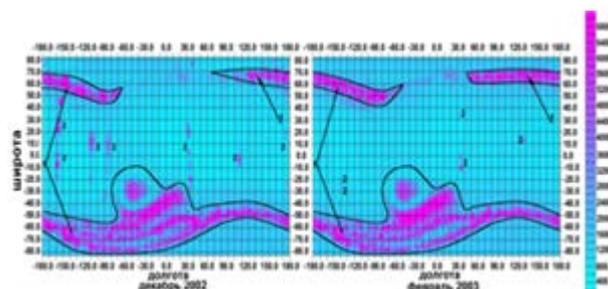


Рис.13.Карта высыпаний энергичных частиц из магнитосферы в верхнюю атмосферу Земли (1 – радиационные пояса, 2 – высыпания частиц) (МИФИ).

По наблюдениям в УФ диапазоне с помощью солнечного ультрафиолетового (УФ) радиометра СУФР и солнечного УФ спектрофотометра ВУСС (ИПГ) измерены потоки УФ излучения Солнца и определен вклад самых мощных вспышек в общий УФ поток, как правило, не превышающий нескольких процентов в наблюдаемой полосе (вблизи 120 нм) (рис.14), разработана методика определения содержания молекулярного кислорода – одного из основных компонентов атмосферы, важного для построения современной модели атмосферы Земли.

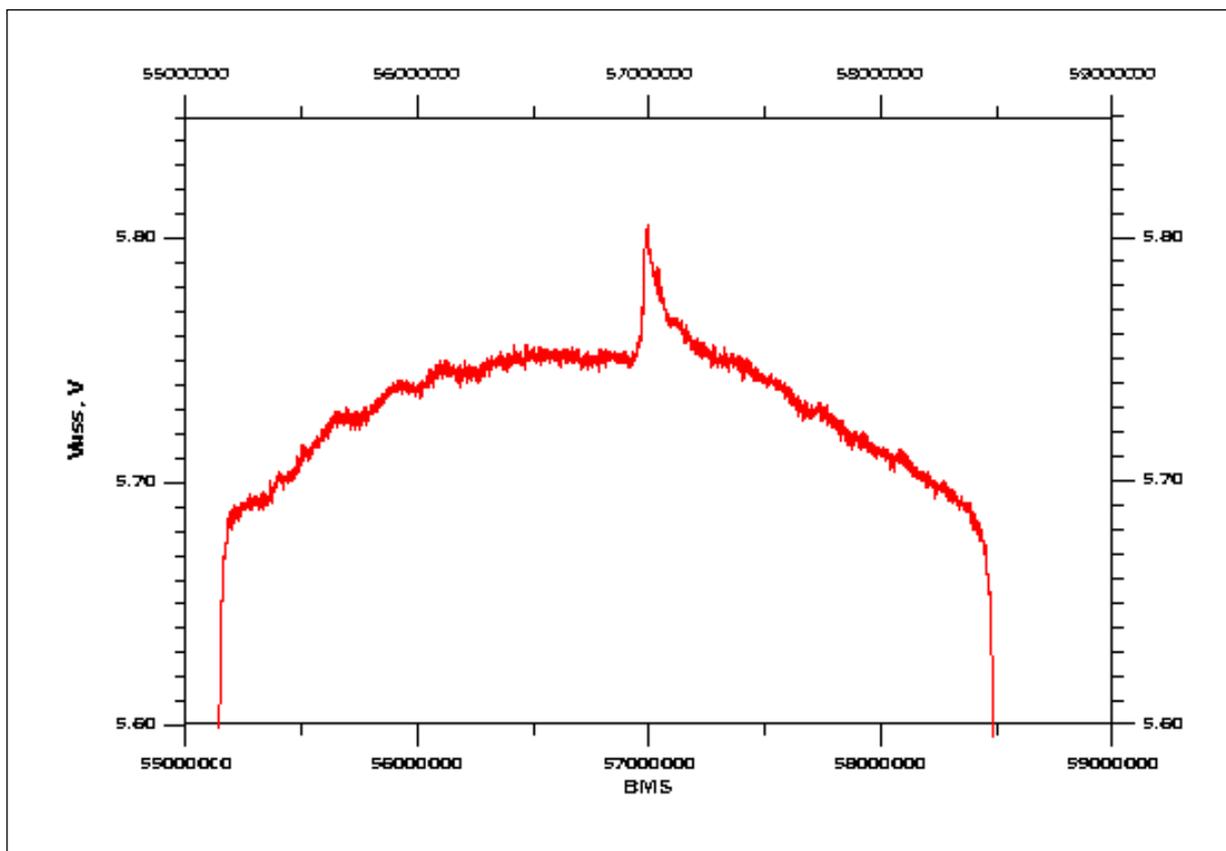


Рис.14.Изменения ультрафиолетового излучения Солнца при вспышке 21.01.2003 г. (рентгеновского класса M1.9) (ИПГ Росгидромет).

Спектрофотометром ДИАГЕНЕСС и рентгеновским спектрометром РЕСИК (Центр космических исследований Польской академии наук) изучены атомные процессы в солнечных вспышках и выполнена обширная спектроскопическая диагностика вспышечной плазмы (рис.15): впервые измерены и изучены полно-профильные спектральные линии от самых мощных вспышек; обнаружены новые спектральные линии в солнечном спектре, в том числе, впервые обнаружены и изучены спектральные линии ионов солнечной плазмы для высоких значений квантовых чисел  $n$ ; определено абсолютное содержание ряда химических элементов в короне Солнца.

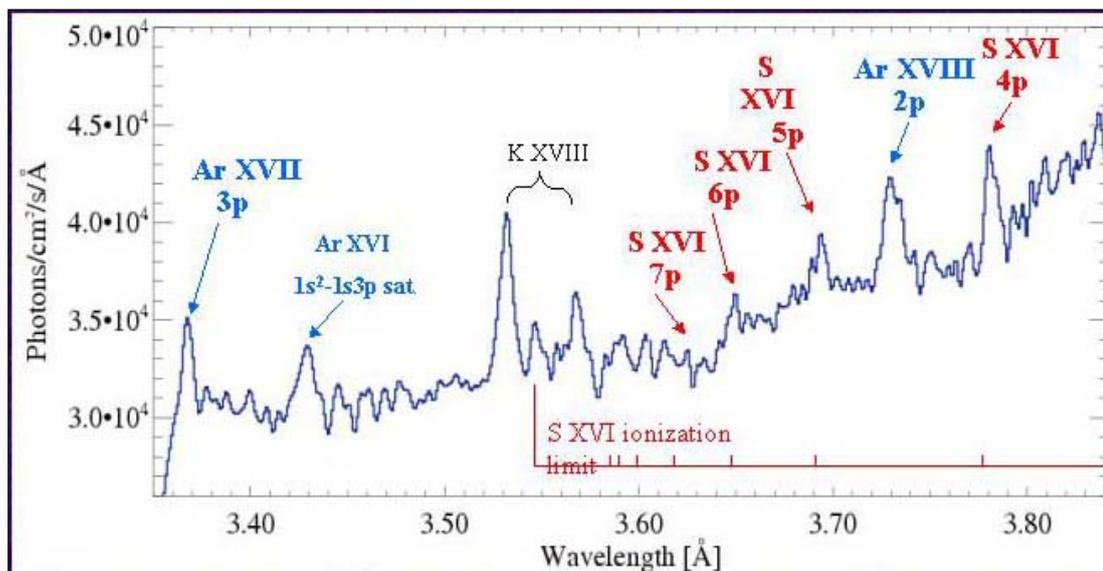


Рис.15.Рентгеновский спектр вспышечной плазмы, содержащий линии редких элементов солнечной атмосферы (Рентгеновский спектрометр РЕСИК, ЦКИ ПАН).

Сложившаяся кооперация при реализации программы КОРОНАС заложила основы для дальнейшего развития космических исследований в области гелиофизики, что нашло свое отражение в разработке новых и перспективных проектов АРКА (рис.16) и Интергелиозонд (рис.17) Федеральной космической программы, направленных на решение актуальных задач солнечно-земной физики. Активность Солнца непрерывно воздействует на Землю и околоземное космическое пространство, формируя космическую погоду, и задача понять, как устроено и как работает Солнце, изначально была одной из приоритетных в программах Российской академии наук на современном этапе развития науки, определяя ее передний край в этой области фундаментальных исследований.

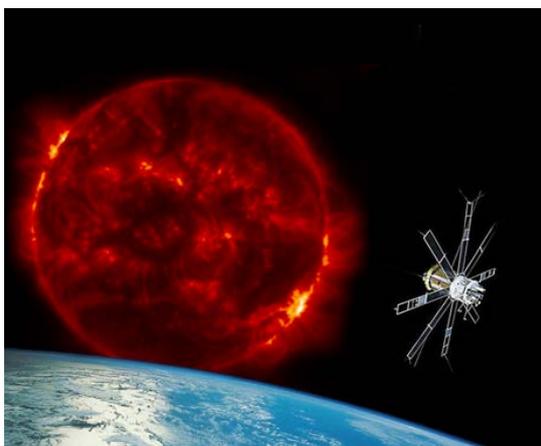


Рис.16. Проект АРКА для рентгеновских наблюдений Солнца с высоким пространственным разрешением с околоземной орбиты.

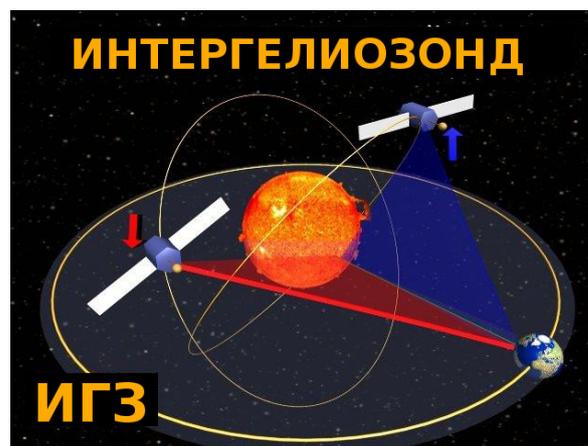
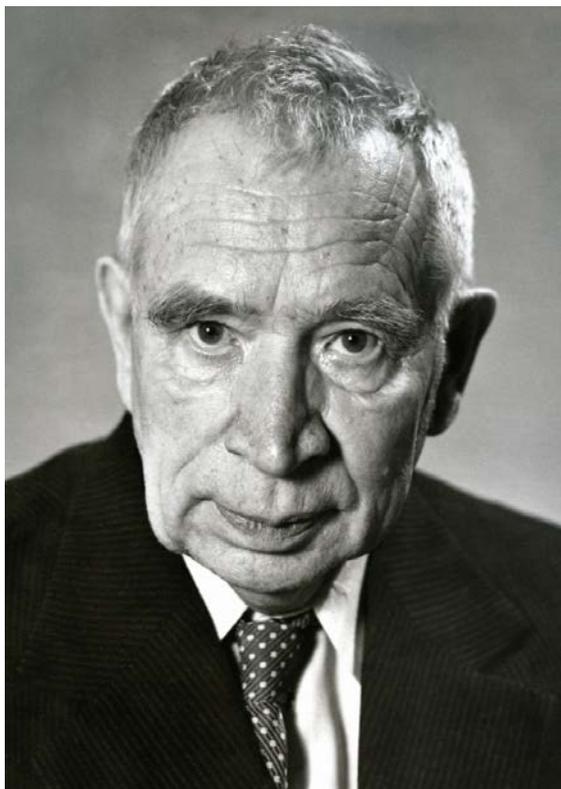


Рис.17. Проект Интергелиозонд для непрерывных внеэклиптических наблюдений Солнца с гелиоцентрических орбит.

## 120 лет Николаю Васильевичу Пушкову основателю ИЗМИРАН и Совета «Солнце - Земля»



Доктор физико-математических наук Николай Васильевич Пушков, лауреат Ленинской премии, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, кавалер трех орденов Трудового Красного Знамени и ордена "Знак Почета" – один из основателей советской геофизики и мировой солнечно-земной физики, основатель и первый директор ИЗМИРАН (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН им. Н.В.Пушкова), Совета «Солнце–Земля» и Международного Комитета по солнечно-земной физике – принадлежал к числу самых талантливых организаторов современной науки. Его имя хорошо известно научной общественности в странах, проводящих исследования в области планетарной геофизики и солнечно-земной физики.

Н.В.Пушков был первым директором Научно-исследовательского института земного магнетизма Главного управления гидрометеорологической службы при Совнаркоме СССР – НИИЗМ (с 1939 года), впоследствии ставшего НИЗМИР (Научно-исследовательский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Министерства связи СССР, 1956-1959гг.) и с 1959г. по 1969г. – ИЗМИРАН (НИЗМИР был переименован в ИЗМИРАН после перехода института в АН СССР).

Николай Васильевич родился 17 мая 1903г. в семье каменщика. Трудовая деятельность его началась рано: с 14 лет он одновременно с учебной работой на виноградниках. В 1920 – 1926 гг. он полностью занят активной комсомольской

и партийной работой (член партии с 1925г.), занимал различные посты в райкомах РКСМ, неоднократно избирался секретарем РКСМ и депутатом районных и городских советов (Новороссийская и Краснодарская области). В 1926г. его направляют на учебу в МГУ, где он выбрал физико-математический факультет. В 1929г., серьезно заинтересовавшись геофизикой, он принимает участие в организации Московского гидрометеорологического института, переходит в него, заканчивает его в 1930г. по специальности «земной магнетизм», один год преподает в этом институте и в 1931г. поступает в аспирантуру Главной Геофизической Обсерватории. В 1934г. он защищает кандидатскую диссертацию на тему «Теории космического магнетизма», работая в должности старшего научного сотрудника магнитной обсерватории г.Павловска, а с 1937 года директором этой обсерватории. До сих пор вызывает восхищение и уважение огромный труд, вложенный в диссертацию ее автором. Достаточно напомнить, что первая современная монография о земном магнетизме, написанная С.Чепменом и Ю.Бартельсом, появилась только в 1940 г., через несколько лет после того, как Н.В.Пушков в сжатой форме изложил в своей диссертации результаты многих работ по постоянному и переменному полю и даже по только что начатым исследованиям ионосферы. При этом результаты были критически осмыслены и систематизированы.

Именно в эти годы Николай Васильевич и сформулировал утверждение, которое явилось основой новой науки и привело в будущем к появлению во всем мире и в СССР новых институтов и важных космических миссий. Согласно этому утверждению, физику ионосферы, вариаций магнитного поля, околоземного космического пространства нельзя рассматривать в отрыве от физики явлений солнечной активности. В последние годы стало ясно, что солнечную активность надо учитывать и в, казалось бы, далеких областях, в проблеме возникновения жизни на Земле, метеорологии, биологии, медицине, в целом ряде практических проблем жизни цивилизации. Все это является частью одной гигантской междисциплинарной науки – солнечно-земной физики.

В 1937 году вся страна с волнением следила за работой четверых зимовщиков дрейфующей станции «Северный полюс» – И.Д.Папанина, Э.Т.Кренкеля, Е.К.Федорова, П.П.Ширшова. И вдруг радиосвязь со станцией исчезла. Что-то случилось там, на льдине? В этот тревожный момент руководитель магнитной обсерватории в Павловске под Ленинградом Н.В.Пушков связал происшествие с магнитной бурей и предсказал, что связь скоро восстановится сама собой. По заданию руководства он организовал оперативную службу магнитного поля, дававшую информацию об условиях связи со станцией «Северный полюс».

Возникла необходимость в создании научно-исследовательского института, который занялся бы этой проблемой. И директором этого института стал, естественно, Николай Васильевич Пушков, тогда директор Павловской

магнитной обсерватории под Ленинградом.

К сожалению, формирование полноценного института прервала Великая Отечественная война. Она сказалась на судьбе молодого института и на время оторвала Н.В.Пушкова от него. Институт был отправлен в эвакуацию.

А у Н.В.Пушкова была другая судьба. Он и еще ряд работников горсовета и горкома партии были оставлены в Павловске для подпольной работы. Когда фашистские войска стали приближаться к Ленинграду, Слуцкий горком партии предложил Н.В.Пушкову возглавить подполье в г. Валдае; но выяснилось, что организация подполья не была подготовлена и к тому же оккупирован Валдай не был. Был еще один секретный приказ – организовать команду и жечь деревни перед наступающими немецкими войсками. Но Николай Васильевич отказался выполнять его, он считал неразумным жечь деревни на своей территории. За невыполнение приказа он был арестован и предан суду.

Трудно сказать, что ждало дальше Н.В.Пушкова, но судьба распорядилась иначе. Именно в это время были начаты перевозки оборудования и продовольствия из Англии, знаменитые арктические конвои, доставлявшие в СССР грузы по ленд-лизу во время Второй мировой войны. И всю эту гигантскую работу нужно было обеспечивать связью, а она по-прежнему была очень ненадежной.

И вот Н.В.Пушков прямо из суда был отозван в Москву и направлен в командировку в Англию для знакомства с постановкой английской ионосферной службы. Вернулся Н.В.Пушков летом 1943г., когда эвакуированный институт находился на Урале в Косулино под Свердловском, где под его руководством развитие получила ионосферная служба СССР, главной задачей которой было обеспечение ионосферной информацией и прогнозами действующей армии, а также составлялись карты магнитного склонения по трассе перелёта самолетов, получаемых по ленд-лизу из Соединенных Штатов Америки через Аляску–Чукотку–Якутию–Западную Сибирь. Здесь же в 1943 году по инициативе Н.В.Пушкова и С.К.Всехсвятского был построен специальный павильон, собран горизонтальный солнечный телескоп, вывезенный из Киева, и с августа начались регулярные наблюдения Солнца, необходимые для прогнозирования ионосферной связи.

Когда встал вопрос о возвращении института из эвакуации, то Н.В.Пушков предложил разместить институт не под Ленинградом, где здание обсерватории было полностью уничтожено, а в недостроенном здании Московской геофизической обсерватории на сороковом километре Калужского шоссе, близ деревни Красная Пахра, на что было получено согласие. Позднее 27 июля 1946 года было издано Распоряжение №1647 о строительстве здания для института, подписанное И.В.Сталиным, работавшим в свое время (1900 г.) наблюдателем в Тифлисской магнито-метеорологической обсерватории. На новом месте под руководством Н.В.Пушкова началось активное расширение

института, укомплектование его научными кадрами, решались самые разные проблемы – от жилья для сотрудников до питания и создания библиотеки.

Николай Васильевич был не только большим ученым, но и обладал особенным рыцарственно-честным, «романтическим» характером. Людей такого склада иногда называют «комсомольцы 30-х годов». Он свято верил в идеалы построения советского справедливого общества и готов был в случае необходимости отстаивать справедливость на всех уровнях, иногда рискуя своей собственной карьерой и, может быть, свободой.

В разгар кампании по борьбе с космополитами Николай Васильевич не побоялся взять к себе трех молодых талантливых космиков-евреев, от которых отказался ААНИИ. Звали их Лев Дорман, Наум Каминер и Яков Блох, и этот жест Н.В.Пушкова заложил основу ведущей роли ИЗМИРАНа и советской науки в исследовании вариаций космических лучей. В 1952г. по инициативе Н.В.Пушкова была организована Лаборатория атмосферных радиопомех, руководство которой было возложено на Я.И.Лихтера, также на вынужденного покинуть ФИАН в 1950г. Яков Львович Альперт, проработавший в ФИАНе 16 лет (1935–1951), был уволен в результате борьбы с космополитизмом и перешел в НИЗМИР, где затем возглавил отдел распространения радиоволн. Именно он был по существу автором самого первого в мире научного космического эксперимента на Первом спутнике. В эти годы в ИЗМИРАН работали будущие академики Александр Викторович Гуревич (научная деятельность которого началась в 1954 году в отделе Я.Л. Альперта) и Лев Петрович Пятаевский. С целью привлечения новых кадров Николай Васильевич использовал еще то, что институт считался располагавшимся не в Москве, а в Московской области, где режим прописки был гораздо проще. Поэтому сюда направлялись целыми выпусками студенты из Горького, Одессы, Ленинграда, Москвы.

Н.В.Пушков был искренним коммунистом. И вместе с тем смелым, мужественным человеком. Эти его качества особенно проявились в 30-е годовое время, когда подвергались репрессиям «оппозиционеры», «вредители» и «шпионы», и в конце 40-х – начале 50-х годов во время яростной борьбы с «безродными космополитами». В это непростое время он защищал гонимых и преследуемых, если считал такие действия неправильными, хотя это грозило ему самыми серьезными последствиями. После Великой Отечественной войны проводились суды чести – очередная кампания по нагнетанию страха в стране. Под судом чести оказался даже папанинец, Герой Советского Союза Евгений Константинович Федоров, тогда начальник Главного управления гидрометеослужбы. Н.В.Пушков нашел в себе смелость выступить в его защиту, за что сам попал под суд чести (отделался строгим выговором). После этого на партийных собраниях, когда его куда-то выдвигали, например, делегатом на партийную конференцию, Н.В.Пушков предупреждал:

«Помните, что ваш директор был под судом чести?»

В 1957–1958 гг. проводился Международный геофизический год (МГГ). Постановлением Президиума АН СССР была образована Междуведомственная комиссия по проведению МГГ. Председателем комиссии был назначен вице-президент Академии академик И.П.Бардин, его заместителем – Н.В.Пушков. К этому времени НИИЗМ перешел в систему Министерства связи и стал называться НИЗМИРОм (Научно-исследовательским институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн). НИЗМИР, его отделения, вся сеть ионосферно-магнитных обсерваторий активно участвовали в проведении МГГ. Николай Васильевич образовал в составе НИЗМИРА Мировой центр данных (ныне Геофизический центр РАН), где сосредотачивались данные наблюдений со всех обсерваторий – участников МГГ Советского Союза. Через этот центр осуществлялся международный обмен данными. В 1959г. НИЗМИР перешел из Министерства связи в Академию наук и стал называться Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Академии наук СССР (ИЗМИРАН).

В 1959-м году был проведен Год международного геофизического сотрудничества (МГС), а в 1964–1965 гг. – Международные годы спокойного Солнца (МГСС), в которых под руководством Н.В.Пушкова институты страны принимали самое активное участие. При непосредственном участии Н.В.Пушкова была создана сеть комплексных магнитно-ионосферных станций, являющаяся и сейчас основой ионосферной службы страны. Большую роль Н.В.Пушков сыграл и в создании таких крупных научных центров, как СибИЗМИР (Иркутск), ИКФиА (Якутск), ПГИ (Мурманск).

Именно с этого времени начались и активные космические исследования. В 1960 году за исследование радиационных поясов и магнитного поля Земли и Луны с использованием космических аппаратов Н.В.Пушков и Ш.Ш.Долгинов были удостоены Ленинской премии совместно с сотрудниками НИИЯФ МГУ С.Н.Верновым и А.Е.Чудаковым.

После МГГ ученым всего мира стало ясно, что необходим орган, координирующий исследования по солнечно-земной физике. С участием Николая Васильевича была создана Межсоюзная Комиссия по солнечно-земной физике под руководством американского ученого Фридмана, которая позднее превратилась в Международный Научный Комитет по солнечно-земной физике (SCOSTEP). Николай Васильевич был заместителем председателя этой Комиссии, более того, было оговорено, что это место навсегда сохраняется за представителем СССР. В это же время по инициативе Николая Васильевича в Советском Союзе был создан Совет Солнце – Земля. Полное название этого Совета было гораздо сложнее, поскольку полномочия его включали все аспекты воздействия солнечной активности на разнообразные направления жизни человечества, в том числе и связанные с обороной страны.

Указ о создании этого Совета был подписан лично Председателем Совета Министров СССР А.Н.Косыгиным. Не было сомнений, что возглавлять этот Совет должен Н.В.Пушков. В состав Совета входили директора всех Институты и организаций, имеющих отношение к научной и прикладной стороне проблемы. Из широко известных лиц в состав входили академики С.Н.Вернов, А.Б.Северный, Е.К.Харадзе, генерал-полковник авиации Н.П. Каманин, помощник Главнокомандующего ВВС по подготовке и обеспечению космических полетов (заместитель председателя), А.Ф.Метелкин – заместитель Министра высшего и среднего специального образования РСФСР, представители НТК Войск ПВО и ВМФ, Службы авиационной и космической медицины ВВС, метеослужбы ВВС. Именно Совет и обеспечивал поддержку всех космических миссий, включая пилотируемые.

Н.В.Пушков был активным членом Международного союза геодезии и геофизики (МГТС), Международного научного комитета по солнечно-земной физике (СКОСТЕП), Международной службы урсиграмм и мировых дней, Комиссии академий наук социалистических стран по комплексной проблеме "Планетарные геофизические исследования" (КАПГ). С присущей ему энергией он непосредственно участвовал в организации и руководстве крупнейшими международными научными проектами: "Международный геофизический год" (1957-1958 гг.), "Международный год спокойного Солнца" (1964-1965 гг.), "Международные исследования магнитосферы" (1978-1979 гг.), "Год солнечного максимума" (1979-1981 гг.) и др. Международное признание получила та выдающаяся роль, которую сыграл Н.В.Пушков в становлении солнечно-земной физики, как самостоятельной области науки. Большой ум, принципиальность, чуткость и внимание к людям снискали Н.В.Пушкову заслуженный авторитет не только среди советских ученых, но и среди его зарубежных коллег.

Творческое и организационное наследие Н.В.Пушкова еще многие годы будет богатым источником идей и вдохновения для всех исследователей солнечно-земной физики, знавших его и работавших с ним.

В 1969 году Николай Васильевич освободил пост директора ИЗМИРАН и полностью сосредоточился на работе в Совете Солнце–Земля и SCOSTEP. Именно им в 1973 году была создана Конституция SCOSTEP, которая действовала до самого последнего времени и незначительно изменена только в 2019 году. Умер Николай Васильевич в 1981 году на работе в двух шагах от своего кабинета. В мае 2021 года в Троицке был установлен памятник Н.В.Пушкову.



При составлении этого текста использованы личные воспоминания одного из авторов, а также материалы Выставки ИЗМИРАН-80, материалы и воспоминания сотрудников института <https://www.izmiran.ru/info/personalia/npushkov/>

В.Н.Обридко  
Главный научный сотрудник ИЗМИРАН, профессор  
В.Д.Кузнецов  
Директор ИЗМИРАН

<https://new.ras.ru/activities/news/120-let-nikolayu-vasilevichu-pushkovu-osnovatelyu-izmiran-i-soveta-solntse-zemlya/>

## **Прогнозирование космической погоды как важный элемент устойчивого функционирования человеческой деятельности на Земле и в космосе**

Космическая погода, характеризующая состояние системы «Солнце-Земля», и в более узком смысле состояние околоземного космического пространства, все заметнее дает о себе знать, оказывая воздействие на современные космические технологии и наземные энергосистемы. После того как в 1989 году вызванная активностью Солнца магнитная буря на несколько часов вывела из строя энергосистему штата Квебек в Канаде, и заметным образом нарушила функционирование группировки космических аппаратов, активность Солнца и ее воздействие на Землю были взяты под строгий контроль, который основан на непрерывных наблюдениях Солнца космическими и наземными средствами. Наблюдения и прогнозирование солнечной активности и космической погоды стали неотъемлемой частью системы безопасности для человеческой деятельности на Земле и в космосе. Научно-технический подкомитет Комитета по мирному использованию космического пространства ООН на своих заседаниях регулярно рассматривает вопросы космической погоды и разработку мер по минимизации ущерба от ее воздействий в рамках программы «Долгосрочная устойчивость космической деятельности».

Космическую стихию в виде солнечных вспышек, выбросов солнечной массы, повышенных потоков энергичных частиц, рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца нельзя предотвратить, как ураганы и землетрясения на Земле. Это «Земное эхо солнечных бурь», как писал в своей книге А.Л. Чижевский, влияет на многие земные процессы, и сегодня в эпоху космических технологий и мощных энергосистем вопросы изучения и прогнозирования космической погоды с целью минимизации связанных с ней рисков составляет одну из актуальных проблем солнечно-земной физики, на решение которой направлены усилия ученых.

Прогнозирование солнечной активности, как основного источника космической погоды, как и прогнозирование самой космической погоды, это необходимое условие упреждения возможных рисков и принятия мер по минимизации этих рисков. Например, предупреждение о солнечных вспышках, приводящих к повышенной радиации, позволит космонавтам заблаговременно укрыться в защищенной от радиации камере.

В Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН) с 1998 года работает Центр прогнозов космической погоды (Центр прогнозов КП) – гелиогеофизическая служба, в которой результаты фундаментальных

исследований по проблемам солнечно-земной физики на практике используются для ежедневного прогнозирования различных параметров космической погоды на различные сроки упреждения, а также для оперативного обеспечения этими прогнозами заинтересованных потребителей и заказчиков, среди которых наиболее значимое место занимают Центр управления космическими полетами (ЦУП АО «ЦНИИмаш») и другие предприятия Госкорпорации «Роскосмос». Такое сочетание фундаментальных и прикладных аспектов в работе Центра позволяет развивать наиболее востребованные направления фундаментальных исследований в этой области, а также решать наиболее актуальные проблемы, порождаемые влиянием космической погоды на космическую деятельность.

Солнце испытывает 11-летний цикл солнечной активности, и сегодня мы находимся на фазе роста 25 солнечного цикла, которая характеризуется возрастанием числа и мощности солнечных активных явлений, непрерывно воздействующих на околоземное космическое пространство (ОКП). Даже в периоды минимума солнечного цикла Солнце не бывает спокойным, и иногда незначительные по мощности солнечные явления могут приводить к сильным последствиям на Земле. В связи с этим только непрерывные наблюдения за Солнцем способны обеспечить достоверные прогнозы и контроль состояния ОКП, столь необходимые для снижения дорогостоящих рисков и исключения нештатных ситуаций.

В Центре прогнозов КП ИЗМИРАН в ежедневном оперативном режиме с использованием всех доступных космических и наземных данных о солнечной активности разрабатывается и передается потребителям информация о прогнозном состоянии космической погоды на периоды от нескольких часов до нескольких месяцев, а по отдельным запросам – на более длительные сроки. Такая информация, в частности, является необходимыми входными данными для моделей ионосферы и верхней атмосферы Земли, используемых в различных ведомствах для оценки торможения МКС, низкоорбитальных космических аппаратов и для других целей.

В рамках сотрудничества с АО «ЦНИИмаш», головной организацией Госкорпорации «Роскосмос», Центр прогнозов КП ИЗМИРАН является сегментом автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП) и ведет непрерывное дежурство, обеспечивая расчеты и прогнозы параметров солнечной и геомагнитной активности, необходимые для функционирования системы. Ведется сбор, обработка, систематизация и хранение информации о космической погоде, которая используется, в частности, для анализа аварийных ситуаций в космосе, связанных, например, с воздействием космической радиации на электронику спутников.



Рабочее место оперативно-технической группы Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН.

Активность Солнца недостаточно предсказуема и одна из важнейших задач Центра прогнозов КП состоит в выдаче предупреждений о резких изменениях основных параметров космической погоды, что не всегда удается в силу недостаточной изученности солнечной активности и солнечно-земных связей. Работа в этом направлении требует как детальных и непрерывных наблюдений самого Солнца, так и локальных измерений в межпланетной и околоземной среде – в солнечном ветре, магнитосфере и ионосфере Земли.

Оперативные прогнозы космической погоды особенно важны для обеспечения безопасности при запусках ракет-носителей, и такие оперативные прогнозы гелиогеофизической обстановки в режиме службы ежедневно выполняются Центром (ИЗМИРАН) применительно к пускам и выведению ракет-носителей с транспортными пилотируемыми кораблями «Союз-МС» и «Прогресс-МС» в рамках программы полета и эксплуатации Международной космической станции.

<https://new.ras.ru/activities/news/prognozirovanie-kosmicheskoy-pogody-kak-vazhnyy-element-ustoychivogo-funktsionirovaniya-chelovechesk/>

## Арктика и Антарктика в разрезе: в таянии льдов виноват не только климат, но и недра Земли



Ученые Санкт-Петербургского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (СПбФ ИЗМИРАН) «заглянули» на десятки километров под Землю, чтобы найти глубинные причины ускоренного таяния многолетних льдов.

За последние 20 лет произошло увеличение скорости таяния полярных льдов на 65 %. В основном этот процесс определяется резким увеличением потерь ледниковых щитов Антарктиды и Гренландии, а также многолетних льдов Северного ледовитого океана. Эти явления часто связывают с глобальным потеплением, но на самом деле ледяные запасы планеты размываются как с поверхности, так и из глубины земной коры и мантии под действием геотермального теплового потока. Существенную роль в процессе деструкции льда играют вертикальные термофлюидные каналы.

«Флюидоподводящие каналы представляют собой разломные зоны, проще говоря – систему трещин, секущих слои земной коры, – говорит заведующая сектором магнитной картографии СПбФ ИЗМИРАН Алевтина Петрова. – Флюид – химически агрессивное вещество в виде разогретого газоконденсата сложного состава. По трещинам он поднимается из мантии сквозь земную кору к поверхности Земли и влияет своим теплом на таяние льдов».

Чтобы учесть это влияние, СПбФ ИЗМИРАН создал технологию выявления траекторий мантийных термофлюидных каналов и питающих их линз флюидных систем. Пути миграции флюидных потоков, разрушающих ледяной покров, визуализируются на глубинных петрофизических разрезах земной коры и литосферы Земли в виде каналов с пониженными магнитными и плотностными свойствами. Эти разрезы строятся в результате комплексной интерпретации аномалий магнитного поля Земли и аномалий силы тяжести. Исходными данными служат обновленная в 2020 г. СПбФ ИЗМИРАН трехмерная векторная модель геомагнитного поля, построенная на основе приземных аэро- и гидромагнитных модульных съемок, и модель гравитационного поля, созданная с учетом результатов многолетних сейсмических и других геофизических исследований. Верификация моделей по спутниковым данным подтвердила их высокое качество.

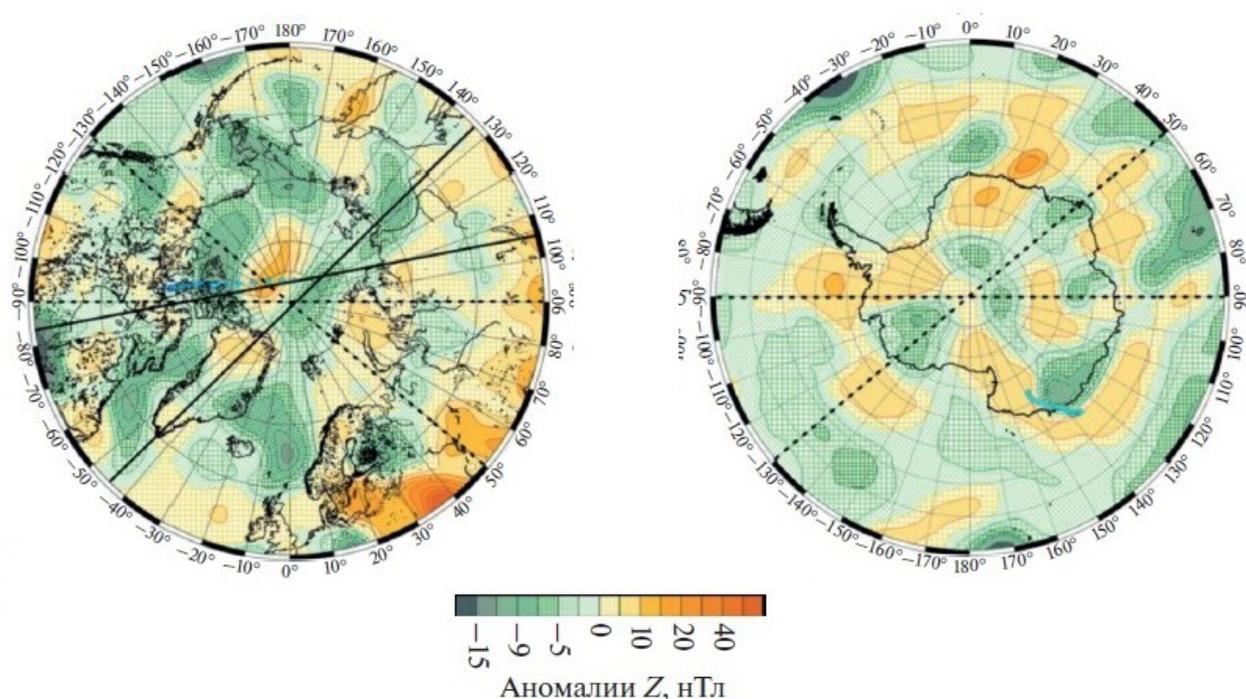


Рис. 1. Карта полярных областей Арктики (слева) и Антарктики (справа), для которых составлялись глубинные разрезы вдоль обозначенных прямыми линиями профилей. Цветом выделены аномалии  $Z$ -компоненты магнитного поля.

Объектом исследования является литосфера полярных областей Арктики и Антарктики соответственно к северу от  $50^\circ$  с.ш. и к югу от  $50^\circ$  ю.ш. (рис. 1). По аномалиям силы тяжести строятся плотностные разрезы, по аномалиям компонент геомагнитного поля – магнитные. На магнитных разрезах термофлюидные каналы четко выделяются в виде зон с пониженными магнитными свойствами. На плотностных разрезах флюидоподводящие каналы выглядят как разуплотненные треки. (См. желтые стрелки на рис. 2.)

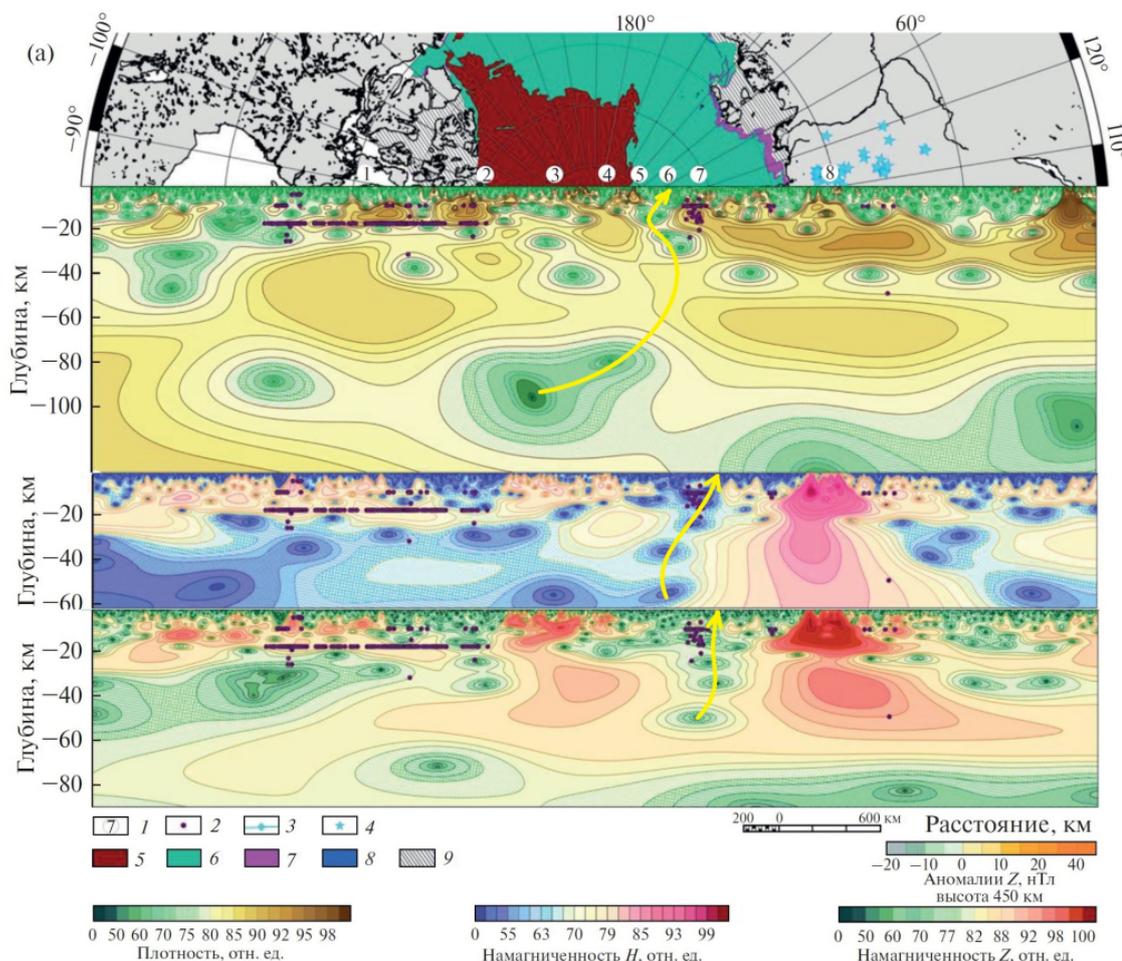


Рис. 2. Разрезы литосферы Арктики по профилю 3–3'. Вверху – карта ледового покрытия еверного ледовитого океана (февраль 2020 г.). Под картой (сверху вниз) – глубинные разрезы по аномалиям плотности, H- и Z-компоненты магнитного поля. Обозначения: 1 – физико-географические элементы; 2 – землетрясения; 3 – траектория перемещения магнитного полюса 1900–2020 гг.; 4 – алмазосодержащие породы (кимберлиты); 5 – старый лед; 6 – однолетний лед (30–200 см); 7 – молодой лед; 8 – нилас (эластичная ледяная корка толщиной до 10 см, легко прогибающаяся на волне и зыби); 9 – припай. Физико-географические элементы на верхней карте: 1 – Северо-Американская платформа; 2 – Канадский архипелаг; 3 – хр. Альфа; 4 – котловина Макарова; 5 – хр. Ломоносова; 6 – котловина Амундсена Евразийского бассейна; 7 – хр. Гаккеля; 8 – Восточная Сибирь (Ленский литосферный корень).

Как видно на карте рис. 2, половина Северного ледовитого океана покрыта многолетними льдами, а другая половина – свободна от него. И дело здесь не в разных климатических условиях. Если посмотреть на разрезы аномалий плотности и магнитного поля, то легко увидеть причину этого: наличие флюидоподводящего канала (желтые стрелки) к поверхности морского дна, направленное действие теплового потока по которому приводит к ускоренной локальной деградации льда, уменьшению толщины многолетнего ледяного покрова и формированию границы однолетнего льда.

Особенно хорошо этот канал выделяется на разрезах по аномалиям компонент магнитного поля в виде цепочки синих и зеленых линз. На разрезе по аномалиям плотности видно, что питающая канал мощная линза флюидной

системы расположена на глубине 90–110 км. Известно, что чем глубже находится питающая канал линза, тем она горячее и, следовательно, тем большее тепловое воздействие оказывает идущий от нее канал.

Важен и учет сейсмической активности (фиолетовые точки). При наличии сейсмического события в линзах флюидных систем возникают пульсирующие колебания, провоцирующие активность вертикальной миграции потоков флюидов по термофлюидным каналам. Это приводит к увеличению интенсивности термального потока флюидов в зонах выхода к поверхности.

Под Сибирью на рис. 2 ярко проявляется мощный субвертикальный блок повышенной плотности и намагниченности: это Ленский литосферный корень – один из наиболее крупных известных корней литосферы Восточной Сибири. Намагниченный киль этого корня прослеживается до глубины более 50 км, а толщина плотного блока корня составляет более 100 км.

Исследование литосферы зоны вечной мерзлоты Восточной Сибири показало, что к районам с мощными корнями литосферы тяготеют зоны со стабильной толщиной ледяного горизонта вечной мерзлоты. Это позволяет сделать предположение, что стабильность ледяных горизонтов многолетней мерзлоты обеспечивается холодными блоками корней литосферы, перекрывающими тепло мантии.

Кроме того, анализ глубинных разрезов через месторождения Якутской алмазоносной провинции показал, что к корню литосферы тяготеют месторождения алмазов (бирюзовые звездочки на рис. 2).

На рис. 3 также можно видеть сильное влияние термофлюидных каналов на многолетний лед Северного ледовитого океана. А выход такого канала к поверхности в северной Гренландии привел к тому, что подповерхностные тепловые потоки там гораздо сильнее, чем на юге, где поверхность защищена от подземного тепла остатком древней платформы (кратоном). Стабильность ледникового щита Гренландии зависит от геотермального потока из глубин мантии. Кратон на юге Гренландии, характеризующийся толщиной до 200–270 км, создает значимый киль в литосфере. Возможно, он является литосферным корнем, аналогичным Ленскому корню в Восточной Сибири, который перекрывает мантийный тепловой поток и тем самым сохраняет зоны ледяного покрова многолетней мерзлоты в стабильном состоянии.

Если литосферные корни связаны с алмазами, то термофлюидный канал в древних докембрийских блоках фундамента – это признак наличия рудных месторождений, в частности – золота (оранжевые кружки на рис. 3). Проведенное исследование в зоне вечной мерзлоты Восточной Сибири показало, что сквозные талики (термические ареалы таяния), возникающие под влиянием выходов к поверхности термофлюидных каналов, представляют собой горячие пятна рудных узлов гидротермальных месторождений,

образующихся из эндогенных (обусловленных внутренними причинами) газово-водных растворов.

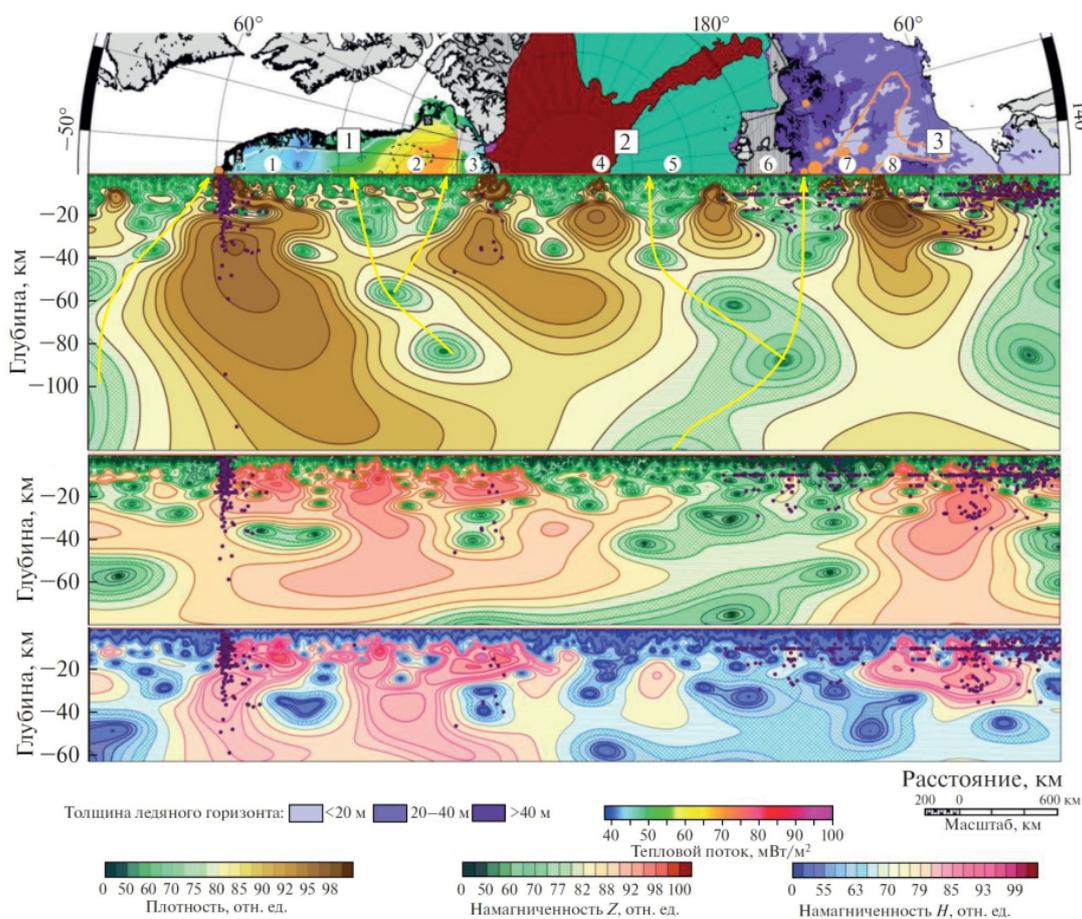


Рис. 3. Разрезы литосферы Арктики по профилю 4–4' (Гренландия–Восточная Сибирь). На верхней карте цветом обозначены: тепловой поток для Гренландии (1), тип ледового покрытия для Северного ледовитого океана на март 2019 г. (2) и толщина ледяного горизонта вечной мерзлоты для Восточной Сибири (3). Оранжевые кружки в Сибири – месторождения золота, оранжевая линия – границы золотоносной провинции. Физико-географические элементы: 1 – кратон (древняя платформа) Гренландии, 2 – северо-западный – юго-восточный пояс Гренландии, 3 – северо-гренландский складчатый пояс, 4 – хр. Ломоносова, 5 – Евразийский бассейн, 6 – море Лаптевых, 7 – Верхоянская астенолинза (область перегретых разуплотненных масс вещества верхней мантии); 8 – Якутский литосферный корень. Под картой (сверху вниз): глубинные разрезы по аномалиям плотности, Z- и H-компоненты геомагнитного поля.

Фактором образования полезных ископаемых горячих пятен рудных узлов является вынос гидротермальными потоками рудоносных флюидов, поставляемых термофлюидными каналами из глубокофокусных тектонических зон докембрия и верхнемантийных линз. В рудных узлах гидротермальных месторождений создается повышенная концентрация цветных и благородных металлов.

Характерно, что месторождения благородных металлов отмечены и на выходе термофлюидного канала на самом юге Гренландии.

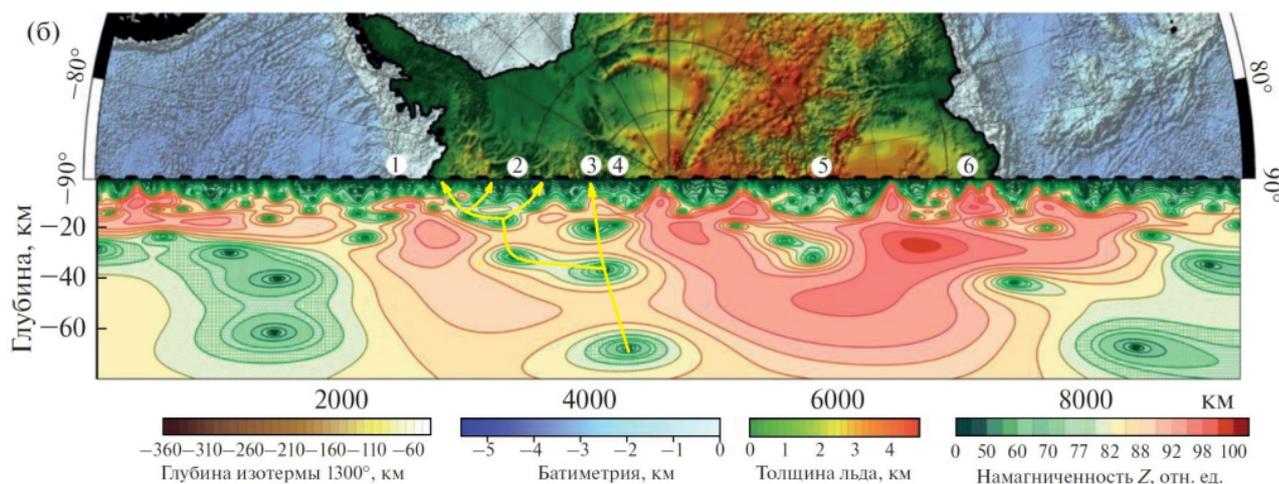


Рис. 4. Разрез литосферы Антарктики по профилю 5–5' (Земля Элсуэрта–Земля Принцессы Елизаветы). На карте цветом обозначена толщина льда Антарктиды. Физико-географические элементы: 1 – Море Беллинсгаузена; 2 – горы Элсуэрта; 3 – массив Винсон; 4 – Трансантарктические горы; 5 – Горы Гамбурцева; 6 – кратон Вестфолл (Земля Принцессы Елизаветы). Под картой – глубинный разрез по аномалиям Z-компоненты магнитного поля.

Ледниковые многолетнемерзлые отложения Антарктиды являются одними из самых древних на Земле. На карте на рис. 4 легко увидеть разницу между толщиной льдов на двух половинах континента, и одним глобальным потеплением ее не объяснишь. Помимо климатических рисков, ледники могут разрушаться и под воздействием глубинного фактора – направленного действия тепловых потоков, восходящих по термофлюидным каналам с глубины 50–100 км.

«И эндогенный, и климатический факторы вносят свои вклады, при этом климатический фактор – сезонный, – говорит Алевтина Петрова. – В то же время необходимо отметить и периодичность тектоно-магматической активизации термофлюидных систем, которые могут находиться в неактивном состоянии, а могут активизироваться под действием глубинных причин, среди которых – изменения поля напряжений земной коры в периоды подготовки и совершения землетрясений и после них».

Подробнее см. «Глубинное строение Арктики и Антарктики по магнитным аномалиям компонент и аномалиям силы тяжести», А. А. Петрова, О. В. Латышева, Ю. А. Копытенко, «Космические исследования», 2022, т. 60, № 4, с. 331–347.

<https://new.ras.ru/mir-nauky/news/arktika-i-antarktika-v-razreze-v-tayanii-ldov-vinovat-netolko-klimat-no-i-nedra-zemli/>

## Ультранизкочастотные электромагнитные поля – источник информации о предстоящем землетрясении

Землетрясения продолжают приносить ущербы и гибель людей. Усилия ученых, интенсивно изучающих эти явления, направлены на поиск возможностей их предсказания на основе различных признаков, которые могут возникать при их подготовке. Известны многие такие признаки, однако, нет таких признаков, которые бы точно сигнализировали о неизбежности землетрясения. Каждый сигнал, который хоть в какой-то мере возникает и регистрируется перед землетрясением, может оказаться важным для продвижения в решении столь сложной и важной проблемы их предупреждения.

Коллектив ученых Санкт-Петербургского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова Российской академии наук (СПбФ ИЗМИРАН) разработал геофизический измерительный комплекс «Очаг-1», предназначенный для решения различных задач фундаментального и прикладного характера, связанных с информацией об ультранизкочастотных (УНЧ) электромагнитных полях.



Рис.1. Геофизическая станция GI-MTS-1. 1 – Регистратор. 2 – Магнитометр. 3 – GPS-антенна. 4 – Кабель связи. 5 – Кабель питания. 6 – Карта памяти. 7 – Электроды.

Комплекс состоит из двух (или более) групп станций GI-MTS-1 (рис.1), расположенных согласно схеме (рис.2) на расстоянии 50-150 км друг от друга. Расстояние между соседними станциями одной группы ~5 км. Станции осуществляют регистрацию электромагнитных полей УНЧ диапазона (0,001-10 Гц) с высокоточной привязкой ко времени (1 мс) и высокой чувствительностью (~1 пТл). Таким образом обеспечивается пассивный метод УНЧ электромагнитной локации источников естественного и искусственного происхождения, что позволяет решать целый комплекс задач, среди которых

- краткосрочный (за 1 - 60 суток) прогноз сильных (магнитуда  $M \geq 4$  по шкале Рихтера) землетрясений с локализацией эпицентра (см. примеры на рис.3), контролируемая площадь 10 – 40 тыс. кв. км
- мониторинг цунами в акватории Мирового океана и процессов в естественном электромагнитном поле Земли и ионосфере;
- исследование связи сейсмических и ионосферных явлений; экологических аспектов техногенных электромагнитных полей;
- измерение вариаций магнитного поля и теллурических токов в УНЧ диапазоне;
- определение местоположения и разделения источников магнитных возмущений; магнитного поля Земли и гравитационных аномалий в разломах земной коры;
- разведка природных ресурсов (углеводородов, цветных металлов, термальных вод, подземных источников пресной воды и пр.).

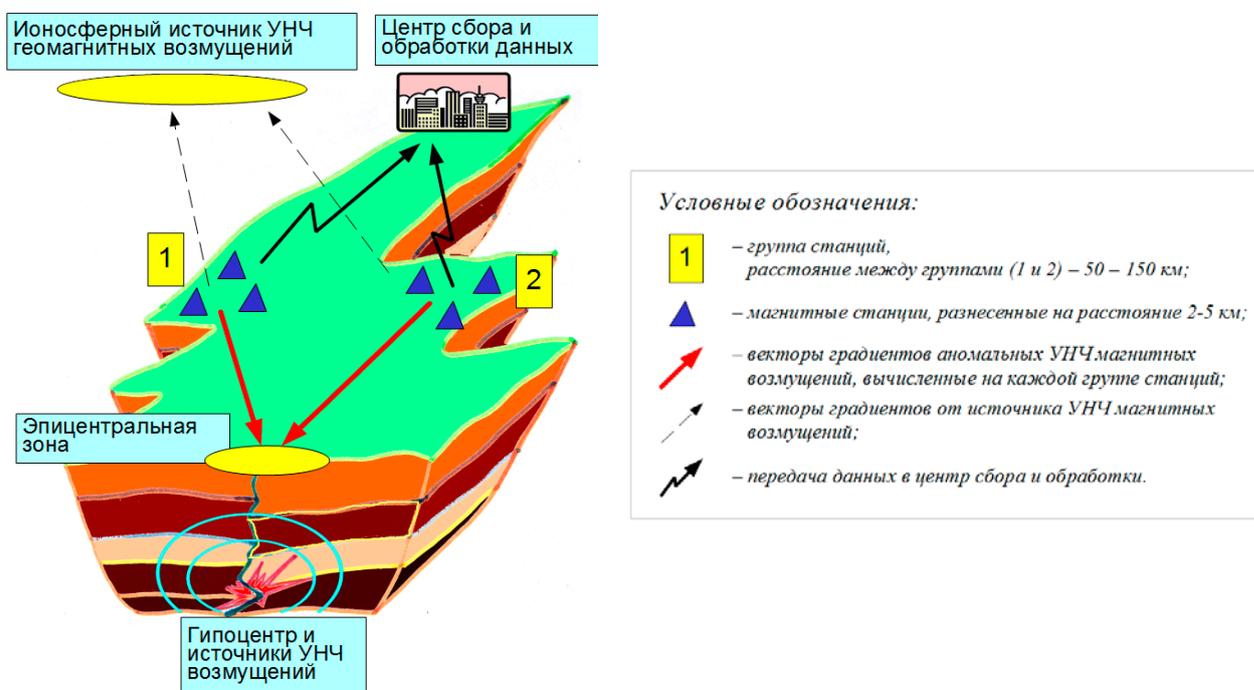


Рис.2. Схема установки геофизического комплекса «Очаг-1».

Результаты, полученные в последние десятилетия учеными СПбФ ИЗМИРАН, позволили модернизировать специальную высокочувствительную

геофизическую аппаратуру и методы локации удаленных локальных источников УНЧ электромагнитных излучений (в том числе и под дном моря), возникающих в сейсмоактивной зоне задолго до первого сейсмического толчка. Таким образом, созданы предпосылки для определения района эпицентра будущего землетрясения на расстоянии до 100 км от пункта наблюдения. Результаты этих исследований опубликованы в зарубежных и отечественных научных изданиях.

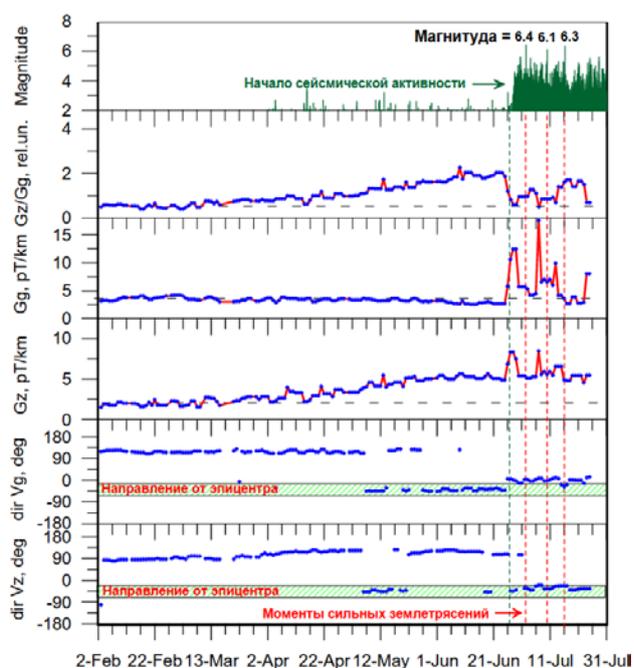


Рис. 3а. Поведение величин градиентов ( $G_g$ ,  $G_z$ ) и направлений фазовых скоростей ( $V_g$ ,  $V_z$ ) УНЧ геомагнитных вариаций в полосе частот  $F = 0.1 - 0.3$  Гц до и во время сейсмоактивного периода. Япония, 2000 г.

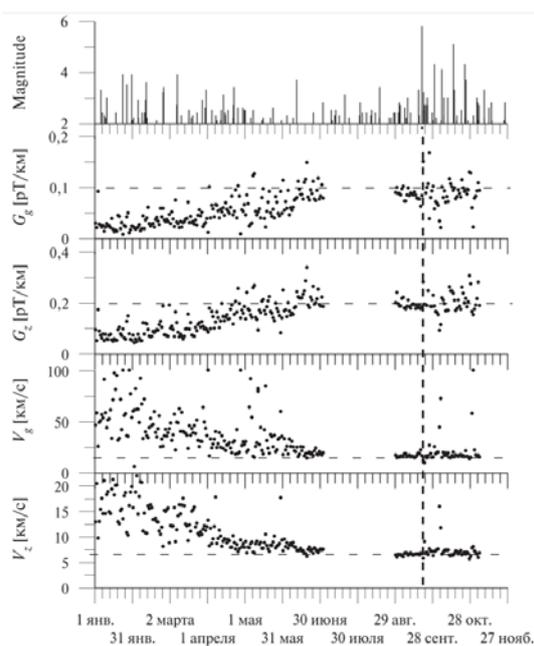


Рис. 3б. Градиенты и фазовые скорости геомагнитных возмущений (частота  $F = 0,1...0,4$  Гц) до и после землетрясения с магнитудой  $M = 5,8$  на полуострове Босо (Япония) 2003 г.

$V_g$ ,  $V_z$ ,  $G_g$ ,  $G_z$  – фазовые скорости и градиенты в полной горизонтальной и вертикальной компонентах магнитного поля магнитуды сейсмических толчков ( $M > 2$ ) в окрестности до 50 км от магнитных станций представлены на верхней панели рисунка.

Апробацию комплекса «Очаг-1» и разработанных методов сотрудники СПбФ ИЗМИРАН проводили в сейсмоактивных зонах Российской Федерации (п-ов Камчатка, о. Сахалин), а также в Грузии, Армении, Тайване и Японии.

В настоящее время в рамках сотрудничества с Институтом Сейсмологии Республики Узбекистан идет развертывание и установка комплекса «Очаг-1» в окрестностях г.Ташкент. Налажен сбор данных о характере электромагнитных шумов, свойственных для района установки аппаратуры.

Продолжающиеся измерения и исследования с использованием системы «Очаг-1» позволят продвинуться в решении вышеперечисленных задач, имеющих фундаментальный и прикладной характер, осуществить дальнейшую модернизацию отечественной измерительной аппаратуры и алгоритмов УНЧ электромагнитной локации с целью использования этой системы для получения информации о готовящихся землетрясениях.

<https://new.ras.ru/activities/news/ultranizkochastnye-elektromagnitnye-polya-istochnik-informatsii-o-predstoyashchem-zemletryaseni/>

## Совместные Российские геофизические обсерватории

В России создана межинститутская группа, объединяющая ученых занимающихся исследованием изменения геофизических полей в процессе подготовки природных катастрофических сейсмических событий. В настоящее время в неё входят следующие институты: ИЗМИРАН, КрАО, ИФЗ, ИЯИ и ИПГ.

Совместными усилиями создаются геофизические обсерватории, которые располагаются в районах с повышенной сейсмической и вулканической опасностью в европейской части России. На начало 2023 г. функционируют обсерватории в Крыму на Симеизском геодинамическом полигоне и на Кавказе в шахте Баксанской нейтринной обсерватории (БНО). В этих регионах есть вероятность сильных землетрясений, а БНО располагается рядом с вулканом Эльбрус, поэтому именно здесь решили проводить научные исследования. Обсерватории оснащены научными приборами, в том числе: магнитометрами, сейсмическими и наклономерными станциями.

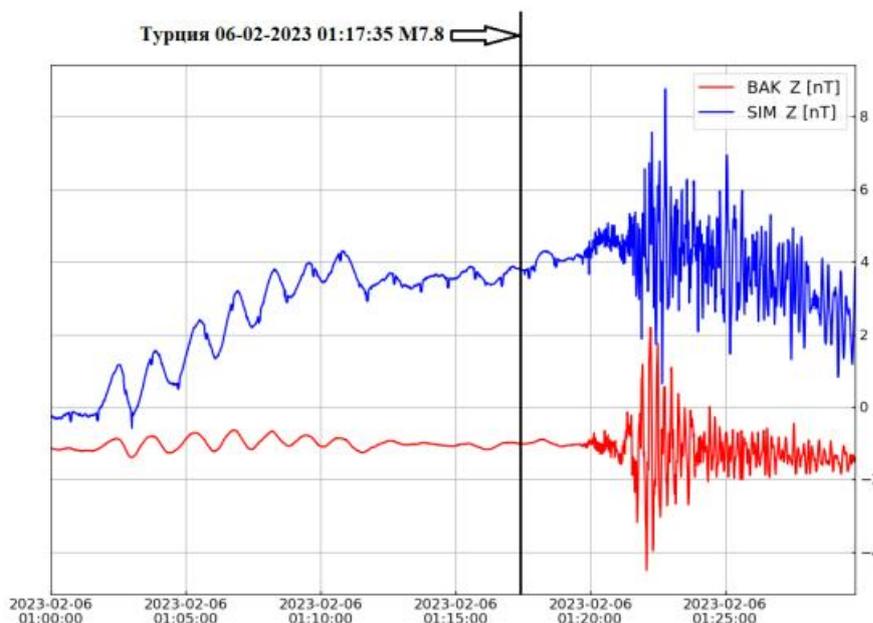


Рис.1. Геомагнитные вариации  $Z$  компоненты в обсерватории Симеиз и БНО пред разрушительным землетрясением в Турции 6 февраля 2023г.

С 2009 г. идет накопление данных и апробация методик выделения предвестников готовящихся сейсмических событий. Постоянно работающие приборы регистрируют изменения в геофизических полях перед крупными землетрясениями по всему миру. Так перед разрушительным землетрясением в Турции 6 февраля 2023г. зарегистрированы гармонические геомагнитные

вариации с периодом порядка 90 секунд за несколько часов, а потом и за несколько минут перед землетрясением. На рис.1 представлены вариации Z компоненты для обсерватории в Симеизе (SIM) и БНО (ВАК) за несколько минут перед землетрясением. Стрелкой и вертикальной линией отмечено время в очаге. Слева от этой линии зарегистрированные гармонические вариации, справа вариации после прихода сейсмической волны, вызванные механическими колебаниями регистрирующих датчиков.

По результатам совместных научных исследований вышло большое число публикаций. Одна из методик поиска предвестников сейсмического события защищена патентом.

В планах группы создание новых обсерваторий в Крыму и на Кавказе, а также привлечение других заинтересованных участников.

<https://new.ras.ru/activities/news/sovместnye-rossiyskie-geofizicheskie-observatorii-registriruyut-izmeneniya-v-geofizicheskikh-polyakh/>