

Научно-исследовательская деятельность отдела геофизики АНИИ направлена на изучение и мониторинг геомагнитных и ионосферных процессов в высоких широтах. Состояние полярной ионосферы и геомагнитного поля определяется воздействием солнечной плазмы (солнечного ветра) на магнитосферу Земли, а также вторжением в высокоширотную атмосферу высокоэнергичных частиц галактического и солнечного происхождения. Эти воздействия обычно обозначают термином «космическая погода», а соответствующую область науки называют физикой солнечно-земных связей.

Исследования полярной ионосферы и геомагнитных полей начались в институте еще в 1930-х годах. В связи с появлением новых направлений исследований и большим объемом работ отдел геофизики был выделен из отдела метеорологии. Перед сотрудниками отдела были поставлены важнейшие практические задачи: составление магнитных карт и обеспечение устойчивой радиосвязи со стационарными и подвижными объектами в Арктическом регионе СССР. Задачи нового отдела определили его структуру, отдел состоял из лабораторий геомагнетизма, ионосферы и распространения радиоволн.

1930-е годы ознаменовались широким применением систем дальней КВ-радиосвязи, в том числе и в Арктическом регионе. КВ-радиоаппаратура позволяла использовать более компактные антенные системы и маломощные радиопередатчики, но требовала разработки новых методик проведения сеансов связи с учетом влияния полярной ионосферы. Специалисты отдела геофизики АНИИ внедрили в практику метод «скачковой» радиосвязи, особая заслуга в разработке которого принадлежит Л.П. Куперову. Данный метод позволил поддерживать устойчивую связь полярных станций с материком, обходя области с аномальной ионизацией ионосферы, и был опробован на первой дрейфующей ледовой станции «Северный полюс» (СП-1).

В этот же период начались работы по исследованию ионосферы методом вертикального зондирования (ВЗ). Метод ВЗ, разработанный в 20-е годы XX века, и по сей день является основным методом изучения ионосферы.

Впервые в СССР отдел геофизики АНИИ изготовил и установил в Арктике (в бухте Тихая на Земле Франца-Иосифа в 1939 году и в бухте Тикси в 1944 году) станции вертикального зондирования ионосферы, которые работали без перерыва даже в годы Великой Отечественной войны. Данные этих приборов позволяли делать про-

гноз дальней радиосвязи в отдаленных районах Арктики, что имело огромное значение для обороны и экономики СССР. Ионосферные наблюдения в бухте Тихая проводились под руководством старшего специалиста В.М. Дриацкого — будущего всемирно известного исследователя полярной ионосферы, д-ра физ.-мат. наук, канд. геогр. наук, руководителя отдела геофизики с 1962 по 1976 год,



А.Ф. Трёшников и В.М. Дриацкий, руководитель отдела геофизики в 1962–1976 годах

начальника САЭ-6 и второй смены СП-6. В 1947 году В.М. Дриацкий, обобщив и систематизировав полученные данные, построил первые отечественные карты пространственно-временного распределения ионосферных параметров в советском регионе Арктики. Сложной задачей являлось построение карт спорадического слоя ионосферы (Es), появление которого обусловлено вторжением электронов магнитосферного происхождения в ионосферу Земли. Г.Н. Егорову удалось установить зависимость вероятностного появления этого слоя от геомагнитной широты, на основе чего для некоторых областей были подготовлены уникальные карты распределения Es. Построение подобных карт являлось важной прикладной задачей, поскольку на основании пространственно-временного распределе-

ния параметров ионосферы давались рекомендации по обеспечению надежной радиосвязи даже в магнитовозмущенных условиях. Для проведения надежной радиосвязи издавались справочники по выбору частот радиосвязи для Крайнего Севера, а также составлялся краткосрочный прогноз нарушения радиосвязи (В.М. Дриацкий, Г.Н. Горбушина, Е.М. Жулина). Хотелось бы особо выделить работы Л.П. Куперова, который в ходе своих исследований в 1957 году разработал метод прогноза условий распространения радиоволн на 6 часов вперед.

Важным вкладом в развитие ионосферных исследований была разработка и внедрение в сетевой мониторинг риометрического метода наблюдения. Впервые в стране был сконструирован и изготовлен автоматический прибор для измерения ионизации в нижней ионосфере высоких широт — риометр. На основании данных сети риометрических наблюдений, охватывающей всю территорию Российской Арктики (1962–1965),

были созданы карты пространственно-временного распределения ионизации в нижней ионосфере высоких широт, что имело решающее значение для обеспечения устойчивости радиосвязи в этом регионе. Были получены физические основания для разделения полярной ионосферы на околоравнинную область, где фиксируется поглощение полярной шапки, и авроральную зону, где фиксируется авроральное поглощение. В 1974 году



В.Б. Смирнов, руководитель лаборатории распространения радиоволн с 1967 по 1985 год

была опубликована монография В.М. Дриацкого, обобщающая результаты исследований, полученные на сети радиометров, ставшая незаменимым пособием для многих поколений геофизиков.

Для получения информации о фактических частотах радиосвязи между двумя пунктами был разработан и внедрен в сеть геофизических наблюдений метод наклонного радиозондирования ионосферы. Активное участие в этих работах принимали В.Б. Смирнов, В.М. Дриацкий и Р.А. Балакин. Впервые в стране была получена ионограмма наклонного зондирования ионосферы в 1977 году (трасса Ленинград — Мурманск). Появилась возможность в системе радиосвязи определения частоты и модовой структуры КВ-радиосигнала в режиме реального времени. Сетевые наблюдения на единой системе радиотрасс позволили эффективно обслуживать ведомства нескольких министерств СССР. Проведение серии наблюдений на трассе наклонного зондирования Москва — Молодежная в Антарктиде (протяженность 13000 км) разрешило давний геофизический спор о том, как распространяется КВ-сигнал на сверхдлинных трассах: методом скачка или волновым способом. Убедительное подтверждение получила первая точка зрения. Работа по наклонному зондированию была выдвинута на соискание Государственной премии СССР.

Другим вкладом в развитие радиосвязи явилась разработка и внедрение в практику метода ионосферного рассеяния вперед, выявленного в начале 70-х годов прошлого столетия. Особая роль в его разработке принадлежит А.В. Широкову — руководителю отдела геофизики с 1976 по 1985 год. Система радиосвязи прошла успешное апробирование на трассе Диксон — Тикси (частота 32 МГц). При этом стандартные ионосферные возмущения, обычно искажающие сигнал радиотрасс, наоборот, увеличивают интенсивность полезного сигнала. Система была с энтузиазмом принята работниками радиоузлов Диксона и Тикси, а отдел геофизики был награжден денежной премией.

В 1977 году в поселке Семашко Ленинградской области была создана научно-производственная база отдела геофизики — НИС «Горьковская», оснащенная современными антенными системами для передающих и приемных устройств. Станция предназначалась для проведения регулярных ионосферных наблюдений, испытания новых видов наблюдательной техники и проведения различных кратковременных научных экспериментов. Создание НИС позволило обеспечить полноценную подготовку специалистов для сети геофизических наблюдений в Арктике и Антарктике. НИС «Горьковская» осуществляла также круглогодичную передачу ионосферных данных в Мурманское УГМС. Бессменным начальником НИС «Горьковская» с 1977 по 2016 год был В.В. Рябов.

В начале 1980-х годов в отделе геофизики совместно с вычислительным центром ААНИИ были развернуты работы по физическому моделированию полярной ионосферы (А.С. Беспрозванная, Т.И. Щука, А.В. Широков, Л.Н. Макарова). Модель полярной ионосферы, учитывающая перенос плазмы в полярной шапке под действием электрического поля конвекции, показала

удовлетворительное согласие с экспериментальными данными, что свидетельствовало о возможности теоретического моделирования полярной ионосферы. Был проведен анализ влияния параметров солнечного ветра на уровень концентрации заряженных частиц в полярной ионосфере. Впервые была показана связь электронной концентрации в верхней ионосфере с положением магнитопаузы на дневной стороне Земли.

В исследованиях и прикладных разработках отдела геофизики, которые были направлены на определение оптимальных условий осуществления радиосвязи и радионавигации в высоких широтах, а также в разработке методов прогноза условий коротковолновой радиосвязи на трассах различной протяженности значимое активное участие принимали А.И. Оль, Л.П. Куперов, А.В. Широков, А.С. Беспрозванная, Т.И. Щука, В.С. Игнатъев, В.Б. Смирнов, В.М. Лукашкин, Ч.Л. Ходжа-Ахметов и В.М. Выставной.

Большой объем научных работ был выполнен по направлению геомагнитных исследований. Для проведения абсолютных и магнитовариационных наблюдений в экспериментальных мастерских разрабатывалось уникальное измерительное оборудование. Хотелось бы

выделить разработанную специалистами АНИИ и ЛГУ в 1946–1947 годах магнитовариационную станцию. Детальная конструктивная разработка станции выполнена доцентом ЛГУ Б.Е. Брюнелли — будущим д-ром физ.-мат. наук, заместителем директора Полярного геофизического института, автором более сотни научных публикаций и всемирно известным специалистом в области геофизики высоких широт. В отличие от более ранних приборов, новая станция имела меньшие габариты и была более удобной в обращении. Со стороны АНИИ разработкой занимался М.Е. Острекин, имевший большой опыт конструкторских и исследовательских работ. Под его руководством в 1946 году были составлены магнитные карты евразийского сектора Арктики на 1940 и 1945 годы.

Наряду с разработкой новой аппаратуры и реализацией новых методов геофизических наблюдений в Арктике,

в отделе выполнялись обширные научные исследования, обеспечившие ААНИИ заслуженное признание международного научного сообщества. В конце 1940-х годов А.П. Никольский предложил теорию спиральности изохрон максимумов утренних магнитных возмущений и показал существование второй зоны максимума магнитных возмущений, расположенной в приполюсной области и характерной для летних месяцев. Им же обнаружена зависимость интенсивных утренних, дневных и ночных возмущений от географического положения пункта наблюдения. Эти исследования приблизили фундаментальное открытие в полярной геофизике — существование аврорального овала.

Работы, выполненные А.С. Беспрозванной и А.И. Олем во второй половине 1960-х годов в рамках исследования связей между геофизическими явлениями и метеорологическими процессами, показали заметную реакцию поля атмосферного давления на вторжение энергичных заряженных частиц. На основании исследований многолетних климатических рядов А.И. Оль выявил



А.В. Широков,  
руководитель отдела геофизики  
в 1976–1985 годах

22-летнюю периодичность в некоторых климатических характеристиках, связанную с циклом солнечной активности.

К наиболее значимым научным результатам следует также отнести: результаты исследований природы полярных магнитных возмущений (М.Е. Острекин, М.Н. Гневышев, С.И. Исаев, Н.А. Миляев, А.П. Никольский, К.К. Федченко, В.М. Дриацкий, А.И. Оль); построение синоптических карт магнитной активности для разных сезонов и времени суток в эпоху максимума и минимума солнечной активности (Л.Н. Жигалов и Н.Н. Жигалова); обнаружение «берегового эффекта» в геомагнитных вариациях (П.К. Сенько); исследования магнитной сопряженности в вариациях геомагнитного поля (Н.А. Миляев и Б.С. Моисеев); определение и районирование локальных аномалий геомагнитного поля в центральной части Арктического бассейна (Н.А. Миляев и Р.М. Галкин).

Для решения одной из важнейших фундаментальных задач магнитосферно-ионосферного взаимодействия — расчета тонкой структуры ионосферных токов и их связи с полярными сияниями и риометрическим поглощением — в начале 1980-х годов, по предложению профессора ЛГУ М.И. Пудовкина, сотрудниками отдела геофизики ААНИИ был организован Карский геомагнитный меридиан. Новейшие магнитовариационные станции видимой записи (МВС ВЗ), разработанные в мастерских ААНИИ, были установлены вдоль геомагнитного меридиана на островах Карского моря в ходе экспедиций А-132. Цепочка станций протянулась от Норильска до о. Хейса и включала 7 пунктов наблюдений. Под руководством Ю.О. Латова в экспедиционных работах принимали участие В.А. Гизлер, Л.Т. Метляев, А.В. Франк-Каменецкий и А.Л. Котиков. Карский геомагнитный меридиан проработал 20 лет вплоть до начала 2000-х годов, был включен в мировую сеть измерений на геомагнитных меридианах, и позволил получить уникальную геофизическую информацию

при проведении комплексных экспериментов с использованием спутниковых измерений.

В 1986 году О.А. Трошичевым (руководил отделом геофизики с 1985 по 2017 год) был разработан, а затем, в сотрудничестве с Датским метеорологическим институтом, внедрен в практику индекс магнитной активности в полярных шапках (РС-индекс). РС-индекс рассчитывается по данным двух околополюсных станций Северного и Южного полушарий: Восток (Антарктида) и Туле (Гренландия). Выполненный в ААНИИ анализ соотношений между РС-индексом и развитием магнитных возмущений, с одной стороны, и параметрами солнечного ветра, с другой стороны, показал, что поведение РС-индекса контролируется вариациями межпланетного электрического поля, взаимодействующего с магнитосферой (О.А. Трошичев, Д.А. Сормаков).

Разработанные в отделе и внедренные технические средства, методы наблюдений и прогнозирования к 1990 году позволили заложить основы системы геофизического мониторинга — сети регулярных геофизических наблюдений в Арктике и Антарктике. По данным магнитных наблюдений контролировалось состояние геомагнитного поля и развитие возмущений

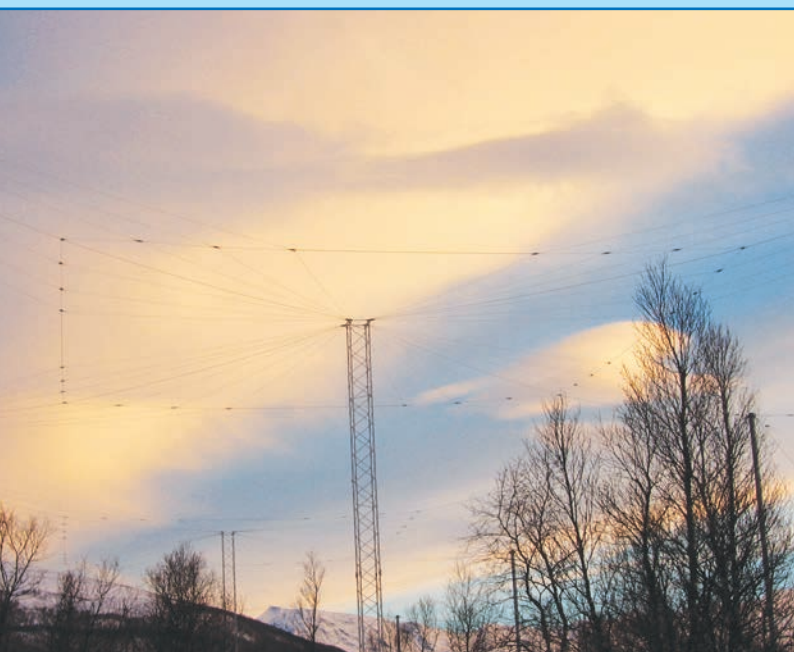
в зоне полярных сияний (авроральных суббурь). Риометрические наблюдения давали информацию о степени и характере воздействия высокоэнергичных частиц на полярную ионосферу. Вертикальное зондирование ионосферы обеспечивало информацию о характеристиках верхних слоев ионосферы, необходимую для построения профиля электронной концентрации в локальной области ионосферы над станцией. Данные наклонного зондирования ионосферы использовались для выбора оптимального диапазона частот радиосвязи в любом секторе Российской Арктики.

Период после 1990 года оказался катастрофическим для системы полярных геофизических наблюдений. Отслужившая свой срок аппаратура выходила из строя,



О.А. Трошичев, руководитель отдела геофизики, на станции Амундсен-Скотт. 1988 год

Элемент фазированной антенной решетки нагревного комплекса EISCAT/Heating, г. Тромсё



Радар некогерентного рассеяния EISCAT, г. Тромсё



квалифицированные кадры покидали Север, и пункты геофизических наблюдений закрывались один за другим. Как результат, Россия перестала выполнять обязательства, принятые СССР в период Международного геофизического года о предоставлении в Мировой центр данных (МЦД) информации о состоянии магнитного поля Земли в российском секторе авроральной зоны, необходимой для расчета авроральных индексов магнитной активности. Учитывая эти обстоятельства, Международная ассоциация геомагнетизма и аэрономии (МАГА) приняла решение профинансировать закупку и установку на российских полярных станциях современной цифровой магнитометрической аппаратуры. Отдел геофизики обеспечил разработку алгоритмов и программного обеспечения передачи первичной цифровой информации по каналам связи, и с 1998 года магнитные данные российских полярных станций стали поступать в МЦД в режиме реального времени.

С середины 1990-х годов в отделе геофизики, под руководством Н.Ф. Благовещенской, начинает развиваться новое направление исследований — изучение эффектов искусственного воздействия на ионосферу мощного КВ-радиоизлучения, создаваемого специальными наземными комплексами — нагревными стендами. Поскольку Россия не имела и не имеет КВ нагревных стендов в авроральной зоне, где эффект воздействия максимален, основной акцент был сделан на проведение исследований на нагревном комплексе “Heating” международной ассоциации EISCAT в г. Тромсё, Норвегия. Результаты исследований, выполненных в 1990-х — начале 2000-х годов, послужили основой для разработки новых и совершенствования существующих методов и технических средств, предназначенных для дистанционной диагностики эффектов воздействия мощных КВ-радиоволн на высокоширотную ионосферу. Активное участие в исследованиях по искусственному воздействию мощного КВ-радиоизлучения на полярную ионосферу приняли Н.Ф. Благовещенская, Т.Д. Борисова, В.А. Корниенко и А.С. Калишин.

В 2004 году началась разработка новой программы геофизических наблюдений. Сотрудниками отдела геофизики был проведен комплексный анализ состояния сети полярных геофизических станций и даны предложения по организации системы геофизического мониторинга в Арктике. Отдел геофизики ААНИИ принял деятельное участие в разработке нового проекта ФЦП «Геофизика», реализация которого началась в 2008 году.

В рамках указанной ФЦП в период с 2009 по 2015 год отдел осуществил полную реконструкцию сети геофизических наблюдений в Арктике. На станциях были отремонтированы или построены новые служебные здания и магнитные павильоны. Взамен устаревших аналоговых ионозондов на станциях была установлена новая цифровая аппаратура (В.М. Выставной, Д.Д. Рогов) и новые антенно-фидерные системы. Для получения цифровой информации о вариациях магнитного поля и риометрического поглощения была разработана специализированная система оцифровки и накопления данных (А.С. Янжура, Д.А. Сормаков). Для обеспечения оперативной передачи больших объемов геофизической информации на геофизических станциях были установлены спутниковые терминалы, позволяющие использовать современные скоростные протоколы транспортировки информации. В 2013 году при ААНИИ был создан Полярный геофизический центр, который обеспечивает: автоматический сбор информации с сети станций геофизического мониторинга, дистанционный контроль и управление измерительным оборудованием, комплексную обработку данных наблюдений, оперативное представление итоговой информационной продукции и передачу этой информации в интегрированную информационно-телекоммуникационную систему Росгидромета и заинтересованным потребителям, международный обмен геофизическими данными в рамках соглашений Росгидромета о сотрудничестве с зарубежными организациями в области космической погоды.

С 2017 года отдел геофизики возглавляет канд. техн. наук А.С. Калишин. В настоящий момент в структуру отдела входят три научно-исследовательские лаборатории: радиофизических (зав. лаб. — д-р физ.-мат. наук Н.Ф. Благовещенская), магнитосферных (зав. лаб. — д-р физ.-мат. наук профессор О.А. Трошичев) и ионосферных (зав. лаб. — канд. физ.-мат. наук А.В. Николаев) исследований, а также Полярный геофизический центр (рук. канд. физ.-мат. наук Д.А. Сормаков) и НИС «Горьковская» (нач. станции С.В. Новиков). Ежегодно сотрудники отдела проводят инспекцию сети геофизических станций в Арктике и участвуют в антарктических экспедициях. Научные достижения отдела геофизики ФГБУ «ААНИИ» получили широкое признание мирового научного сообщества.

*А.С. Калишин, А.С. Калишин, О.А. Трошичев,  
Н.Ф. Благовещенская, А.В. Широков,  
В.Д. Николаева.*

А.С. Калишин за пультом управления радара некогерентного рассеяния, арх. Шпицберген



Главный научный сотрудник — зав. лабораторией Н.Ф. Благовещенская за пультом управления нагревным комплексом

