

# ОТДЕЛ РАДИОФИЗИКИ ГЕОКОСМОСА

член-корреспондент НАН Украины Ю. М. Ямпольский

**Введение.** Основной материал этой статьи был подготовлен пять лет назад к двадцатилетию института. Мне показалось целесообразным сохранить структуру изложения и основную хронологию первоначальной статьи, добавив новые результаты, которые были получены за последние пять лет. Развитие научного направления “радиофизика геокосмоса” в Институте радиофизики и электроники АН УССР (ИРЭ) относится к 60-м годам прошлого XX века. Эта тематика родилась по инициативе д. ф.-м. н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники Украины Павла Викторовича Блюха (1922–2000), который на протяжении 26 лет возглавлял теоретический отдел сначала в ИРЭ (ТОРРИ), а затем в РИ НАНУ.

В это время начали бурно развиваться спутниковые исследования околоземной плазмы – среды “обитания” большинства первых космических аппаратов. Трансионосферные линии распространения радиоволн стали “жизненными нитями”, связывающими бортовые системы спутников с наземными центрами управления и сбора информации. В первые годы космической эры существовала иллюзия, что с помощью контактных методов бортовыми датчиками удастся полностью восстановить морфологию плазмы, основные полевые характеристики геокосмоса и динамику их поведения. Однако весьма быстро стало ясно, что измерения *in situ* имеют локальный, фрагментарный характер, а спутники привносят существенные возмущения в зондируемую среду вдоль орбиты в зоне действия самих контактных диагностических систем. Поэтому дистанционные радиофизические методы не только не были отвергнуты, но получили мощный импульс к развитию. В это время начали создаваться гигантские радары некогерентного рассеяния, позволяющие зондировать всю ионосферную толщу, повсеместно размещаться по земному шару ионозонды – радиолокаторы КВ диапазона, развиваться методы радиопросвечивания ионосферы сигналами служебных и специальных спутниковых передатчиков. Появились идеи искусственной модификации ионосферы сверхмощным электромагнитным излучением с Земли, пучками заряженных частиц и различными химическими реагентами прямо из космоса. В частности, Павлу Викторовичу принадлежала идея создания гигантской искусственной ионосферной линзы за счет нагрее-



ва плазменного слоя мощным коротковолновым излучением [1]. Естественно, что большинство задач о распространении радиоволн в ионосфере и магнитосфере Земли в те годы носило “прикладной”, т. е. оборонный характер. Ионосферная тематика ТОРРИ середины – конца шестидесятих годов в основном была сосредоточена на рассмотрении резонаторных и волноводных свойств полости Земля – нижняя ионосфера в сверхнизкочастотном (СНЧ) и сверхдлинноволновом (СДВ) диапазонах. В первом из них характерные длины волн были соизмеримы с длиной окружности земного шара (десятки тысяч километров), а во втором – сопоставимы с поперечным размером промежутка Земля – ионосфера (десятки километров). Выбор этой тематики был, с одной стороны, обусловлен прикладными задачами создания глобальных систем связи и навигации для погруженных под воду объектов, а с другой – традиционным интересом Павла Викторовича к “красивым” природным структурам, способным фокусировать и канализировать электромагнитную энергию в окружающем пространстве. Оба направления сопровождалось активными теоретическими и экспериментальными исследованиями. В отделе была создана экспериментальная лаборатория, которую возглавил В. Ф. Шульга (1929-1972). Развитие работ по этим направлениям естественным образом сопровождалось профессиональным ростом большой группы сотрудников, защитой кандидатских, а затем и докторских диссертаций. Логическим подведением итогов успешной многолетней работы отдела по этой ионосферной тематике явилась публикация двух монографий [2, 3]. Наряду с прикладными аспектами ионосферных исследований Павел Викторович всегда акцентировал внимание учеников на возможности использования особенностей распространения радиоволн разных диапазонов для диагностики нижней ионосферы. Как это ни парадоксально, но до сих пор “подножье ионосферы”, D-область, остается наименее изученной. Плазма на этих высотах является малой пассивной примесью к нейтральной компоненте атмосферного газа и трудно поддается контактной диагностике и радарным методам зондирования. Примерно к концу 70-х – середине 80-х гг. XX-го века прикладной интерес к этим диапазонам начал спадать, а исследования стали носить геофизический ионосферный характер. Павел Викторович примерно раз в десять лет менял научные интересы и призывал своих учеников следовать этому примеру. Дав возможность своим ученикам “опериться” в ионосферных исследованиях, Павел Викторович сам поменял тематику, сначала увлекшись гравитационными линзами [4], а затем проблемами пылевой плазмы [5].

## **Ионосферные исследования с использованием УТР-2.**

В начале 80-х в ИРЭ АН УССР по инициативе С. Я. Брауде и Л. Н. Литвиненко было организовано Отделение радиоастрономии, и наш отдел практически в полном составе во главе с заведующим перешел в Отделение. Расширилась сфера научных интересов, и в 1982 г. отдел получил новое название “Отдел физики плазмы и ионосферы”, а с 1985 г. – “Отдел космической радиофизики” (ОКР). К этому времени в полную силу заработал и прославился крупнейший в мире декаметровый радиотелескоп УТР-2, уникальный инструмент, который на долгие годы предопределил мировое лидерство Украины в низкочастотной радиоастрономии [6]. Поскольку основным мешающим фактором для радиоастрономических наблюдений в этой частотной области является ионосфера, естественно было сосредоточить усилия по “распространенческой” тематике на исследованиях флуктуаций декаметровых радиоволн в околоземной плазме. С начала 80-х в отделе сложилась научная группа, которая стала активно работать в этом направлении. В это же время Ю. М. Ямпольским были сформулированы основные принципы экологически чистого многочастотного радиозондирования ионосферы с использованием сигналов не специального типа, а уже существующих видов электромагнитного излучения естественного и техногенного происхождения: излучения дискретных космических источников и космического фона, спорадического излучения Солнца и Юпитера, сигналов радиовещательных станций и спутниковых передатчиков. Быстрый экспериментальный прогресс этой группы был обусловлен, прежде всего, режимом максимального благоприятства во время работы на телескопе, уникальными свойствами самого УТР-2 и активной поддержкой теоретиков отдела. Прикладной интерес к задачам загоризонтной радиолокации в КВ диапазоне давал возможность участвовать в крупных НИР и развивать экспериментальную базу исследований. К моменту создания Радиоастрономического института в 1985 г. ионосферные исследования стали заметной частью его тематики. В это время в группу входили Ю. М. Ямпольский, В. Г. Галушко, В. С. Белей, В. Г. Безродный, П. В. Пономаренко и несколько дипломников. Исследования проводились в широкой научной кооперации со многими коллегами из ИЗМИРАН, НИИДАР, ИРЭ АН Украины, ФИАН, НИРФИ, МИРЭА, ПГИ, ИПГ, МГУ и др. Летом 1986 г. Павел Викторович решил оставить заведование отделом, и эту должность занял профессор И. М. Фукс, многоплановый теоретик, известный классическими работами в области статистической теории дифракции и опытом взаимодействия с экспериментаторами. В связи с этими административными переменами ионосферная группа получила еще большую самостоя-



тельность, и директор, академик Л. Н. Литвиненко, неоднократно предлагал сформировать на ее базе структурную лабораторию. В этот период был создан первоклассный по тем временам многоканальный когерентный приемный комплекс КВ диапазона, который вместе с уникальными свойствами антенны УТР-2 дал значительную “фору” нашим экспериментальным исследованиям по сравнению с многочисленными “конкурентами” из других организаций. Продуктивность использования УТР-2 для задач распространения радиоволн и зондирования ионосферы превзошла все ожидания. Наиболее ярко преимущества остронаправленной фазированной антенной решетки (ФАР) проявились при исследовании многолучевых ВЧ полей в окрестности пространственной каустики при отражении декаметровых сигналов от ионосферы на частоте близкой к максимально применимой (МПЧ). Угловое разделение интерферирующих “нижнего” и “верхнего” лучей позволило сформулировать и решить модельную обратную задачу по восстановлению пространственно-временных характеристик ионосферного слоя [7-9]. Многочисленные измерения в прикаустической области и сотрудничество экспериментаторов и теоретиков дали возможность разработать оригинальный метод дистанционного зондирования ионосферы на наклонных односкачковых КВ радиолиниях [10-12]. Эффект фокусировки поля на каустике был чрезвычайно красив. Наблюдая его многократно на различных радиотрассах, мы не переставали удивляться “правильности” и классическому виду дифракционной картины поля, которая порождалась отражением ВЧ сигнала от “эфемерного” плазменного слоя, расположенного в сотнях километрах от поверхности Земли. Время перехода рабочей частоты сигнала через МПЧ на заходе Солнца и вид каустики хорошо характеризовали текущее состояние ионосферы и позволяли прогнозировать качество ночных радиоастрономических наблюдений на УТР-2 [13]. Вдали от каустики в “радиоосвещенной” области использование угловой селекции в сочетании с доплеровской фильтрацией сигналов позволили исследовать широкий класс перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), разработать метод их дистанционного зондирования и визуализации [14, 15]. Созданная теоретическая модель позволяла решать прямые и обратные задачи распространения радиоволн в динамической и статистической постановках. Это в свою очередь дало возможность визуализировать ПИВ, восстанавливать в реальном времени пространственный спектр неоднородностей, направление и скорость их движения, идентифицировать источники самих волновых возмущений. Обобщением этих работ стал метод частотно-углового зондирования ионосферы (ЧУЗИ), нашедший свое применение в Украине [16] и России [17], а в дальнейшем

в США [18, 19] и в Антарктиде [20]. Основной вклад в его развитие внес к. ф.-м. н. В. Г. Галушко. В настоящее время метод усовершенствован для вертикального импульсного зондирования ионосферы с применением модели ПИВ в виде объемных внутренних волн плотности [21]. В зоне радиотени на поверхности Земли использование УТР-2 позволило исследовать диаграммы резонансного рассеяния сигналов на естественных ионосферных неоднородностях и восстановить основные характеристики их пространственного спектра вблизи главного максимума ионизации [22, 23].

В начале 80-х гг. коллеги из НИРФИ (г. Горький) предложили нам включиться в эксперименты по радарной диагностике искусственной ионосферной турбулентности (ИИТ), возбуждаемой сверхмощным КВ передатчиком с поверхности Земли. Ими был создан нагревный стенд (НС) “Сура”, обладавший по тем временам рекордными параметрами. Идеальное взаимное расположение “Суры” и УТР-2 позволило использовать эффект ракурсного рассеяния пробных КВ сигналов на сильно вытянутых вдоль магнитного поля Земли искусственных ионосферных неоднородностях. Роль сигналов “подсветки” выполняли многочисленные вещательные КВ радиостанции, расположенные в европейской части СССР. В дополнение к этим станциям совместно с коллегами из Харьковского государственного университета был создан специальный пробный импульсный передатчик для исследования пространственно-временного поведения ИИТ. Высокая пространственная избирательность ФАР УТР-2 и когерентный многоканальный приемник позволили обнаружить много новых динамических свойств стимулированных неоднородностей, многие из них стали классическими и до сих пор цитируются в современной научной периодике. Впервые были исследованы трехмерные пространственные характеристики возмущенной области [24, 25], обнаружен эффект “эхо-рассеяния” – повторных периодических всплесков рассеяния пробного сигнала на стадии релаксации ИИТ, предложена модель, поясняющая их возникновение [26]. Основная физическая идея состояла в том, что в момент выключения нагрева за счет эффекта “замагниченности” плазменных неоднородностей возбуждаются искусственные резонансные геомагнитные пульсации, которые периодически “подкачивают” интенсивность релаксирующей турбулентности. Этот эффект затем неоднократно проверялся на других нагревных стендах в Скандинавии и на Аляске и до сих пор используется для диагностики геокосмоса. Обнаружение “эхо-рассеяния” стимулировало исследование взаимодействия мелкомасштабных искусственных плазменных неоднородностей с крупномасштабными природными магнитогидродинамическими (МГД) процессами [27, 28], был зарегистрирован обмен энергией между крупномасш-



табными МГД волнами и мелкомасштабной плазменной турбулентностью [29]. Впервые была высказана и подтверждена гипотеза о радиальном дрейфе стимулированных неоднородностей от центра к периферии возмущенной области [30]. Детально изучены времена релаксации мелкомасштабной турбулентности и механизмы ее диссипации [31].

Наряду с изучением искусственных возмущений ионосферной плазмы уже в РИ НАН Украины была предпринята успешная попытка обнаружения природных нелинейностей в геокосмосе. Исходная предпосылка заключалась в том, что процесс распространения радиоволн в плазме всегда носит нелинейный характер, вопрос состоит лишь в пороговых уровнях чувствительности регистрирующих сенсоров и способах обнаружения этих эффектов. Наглядней всего нелинейное взаимодействие должно проявляться в частотной области, сопровождаясь появлением в априорно известном спектре “пробной” радиоволны спектральных составляющих “греющего” воздействия. Руководствуясь этими соображениями, сотрудники отдела провели успешный эксперимент по поиску взаимодействия полей шумановских резонансов (ШР) и кругосветных КВ сигналов [32]. Спектр монохроматического пробного КВ сигнала на кругосветной радиолнии оказался обогащен тремя максимумами ШР. Роль “опорного греющего” источника выполняет поле ясной погоды, которое создает в нижней ионосфере слабо нелинейное взаимодействие между СНЧ и КВ полями. Затухание декаметрового кругосветного радиоволны модулируется мощностью шумановских сигналов. Еще более тонкий эффект естественной нелинейности был обнаружен при поиске кросс-модуляции самих ШР [33]. Оказалось, что при детальном биспектральном анализе в спектрах ШР при больших временах усреднения наряду с основными спектральными максимумами в резонаторе проявляются их слабые комбинационные, сумма-разностные компоненты. К началу 90-х гг. в отделе по ионосферной тематике было опубликовано свыше 40 научных работ, защищено две докторские диссертации (В. Г. Безродным, Ю. М. Ямпольским) и несколько кандидатских диссертаций (В. Г. Галушко, В. С. Белеем, А. Ф. Беленовым, С. Б. Кашеевым). Группа пополнилась новыми молодыми сотрудниками, аспирантами и дипломниками. Директор РИ НАНУ академик Л. Н. Литвиненко поставил вопрос о целесообразности создания нового отдела. В июле 1993 г. был организован “Отдел ионосферного распространения радиоволн”, его заведующим стал Ю. М. Ямпольский. Определяющее значение в принятии такого решения сыграла готовность ведущих теоретиков В. Г. Синицына и В. Г. Безродного перейти в новое подразделение. Это позволило сохранить традиции ТОРПИ – тесное взаимодействие теории и эксперимента.

К этому же периоду относится начало активного международного сотрудничества, появились первые зарубежные гранты и проекты, которые позволили выжить отделу, пожалуй, в самое тяжелое время – в период становления независимости Украины. Важнейший вклад в успешное развитие международного сотрудничества внес В. Г. Синицын, блестящий знаток английского языка, обладающий высочайшей научной квалификацией. Результаты первых международных исследований в области двухпозиционной локализации ионосферы и магнитосферы с использованием уникальных систем УТР-2 и “Сура” [34] были доложены Ю. М. Ямпольским на заседаниях Бюро Отделения физики и астрономии и Президиума НАН Украины и получили высокую оценку в специальном постановлении Президиума НАН Украины. Такая официальная поддержка молодого отдела на самом высоком национальном научном уровне была очень важна и престижна. Отдел продолжал активные исследования по ионосферной тематике, еще трое сотрудников стали кандидатами наук (Г. В. Литвиненко, П. В. Пономаренко, А. В. Колосков).

**Исследования геокосмоса в Антарктике.** В начале 90-х отделом был взят новый курс – антарктические исследования. Учеными и энтузиастами-полярниками в Киеве был поднят вопрос о предоставлении Украине права использования одной из многочисленных советских антарктических станций, которые перешли в собственность России. Эта инициатива была поддержана на высшем официальном государственном уровне, однако не увенчалась успехом, поскольку Россия отказалась создавать прецедент передачи какого-либо имущества бывшего СССР за рубежом другой республике. Тем не менее в Киеве при Институте геологических наук НАН Украины по инициативе академика НАН Украины П. Ф. Гожики был создан Антарктический центр, который практически на общественных началах продолжал поиски возможностей интегрирования украинских ученых в антарктические исследования. Центр разослал многим организациям призывы формулировать научные предложения для исследования Антарктики. Еще в 1992 г. соответствующие предложения были сформулированы и в РИ НАНУ, большинство из них касалось электромагнитных и ионосферных исследований на шестом континенте, многие носили приоритетный оригинальный характер. Примерно в это же время Великобритания объявила международному сообществу о готовности передать одну из своих первых зимующих антарктических баз “Майкл Фарадей” “неантарктической” стране. В условиях серьезной международной конкуренции



Украина стала победительницей конкурса, и официально с февраля 1996 г. база “Майкд Фарадей” перешла под юрисдикцию нашей страны. Станция получила имя выдающегося ученого, первого президента Академии наук Украины – “Академик Вернадский”. Наши научные предложения по исследованию электромагнитных эффектов и ближнего космоса на шестом континенте были замечены и в Украине, и в Великобритании, и уже в 1998 г. первый представитель РИ НАНУ А. В. Зализовский был включен в состав зимовщиков третьей Украинской антарктической экспедиции (УАЭ). С этого времени институт и отдел тесно сотрудничают с Национальным антарктическим научным центром МОН Украины (НАНЦ), при поддержке которого реализованы многие оригинальные эксперименты и систематические исследования геокосмоса в Антарктиде. Отметим, что до 2007 г. институт не “пропустил” ни одной зимовки. 12 сотрудников РИ НАНУ (10 из отдела) работали в антарктических экспедициях, пятеро из них зимовали на станции (четверо – дважды, двое – трижды), пятеро участвовали в двух морских походах в Антарктиду и назад в Украину. Первая в Украине кандидатская диссертация по антарктической тематике была подготовлена в РИ НАНУ (А. В. Зализовским). По инициативе отдела в Низкочастотной обсерватории РИ НАНУ в с. Мартовое Харьковской области при поддержке НАНЦ МОН Украины была организована учебно-тренировочная база зимовщиков, на которой созданы условия, максимально приближенные к реальным, существующим на УАС. Пять экипажей антарктических экспедиций успешно прошли тренировочные сборы на этой базе. Сегодня к. ф.-м. н. А. В. Зализовский возглавляет 15-ю УАЭ и руководит всеми научными исследованиями на УАС.

Британцы не зря дали своей станции имя основоположника электромагнетизма Майкла Фарадея, их основные научные исследования были посвящены изучению электродинамических эффектов в верхней атмосфере и геомагнитной активности. С 1998 г. РИ НАНУ возглавил научное направление “физика верхней атмосферы и ближнего космоса” в Государственной программе исследований Украины в Антарктике. Этот раздел Программы включал стратегический план исследования геокосмоса и космической погоды в Антарктике на десять лет, оснащение УАС новыми устройствами дистанционного зондирования верхней атмосферы и мониторинга электромагнитного климата шестого континента. Станция была дооснащена двумя коротковолновыми когерентными комплексами для диагностики ионосферы (разработаны РИ НАНУ) и тремя магнитометрическими станциями (созданы Львовским центром Института космических исследований НАНУ-НКАУ) для изучения глобальных резонансных систем в около-



земном пространстве – магнитосферного, альфвеновского ионосферного и шумановского резонаторов. Сегодня УАС является самой широкополосной электромагнитной обсерваторией в Антарктике, позволяющей исследовать природные и техногенные шумы в УНЧ, СНЧ, НЧ и ВЧ диапазонах [35]. Расширение научной тематики отдела стимулировало изменение его названия, в 2004 г. он был переименован в “Отдел радиофизики геокосмоса”.

Участие в антарктической тематике позволило проводить радиофизические исследования не только на шестом континенте, но и в морских экспедициях. По ходу движения экспедиционного судна из Севастополя в Антарктику было осуществлено двухпозиционное дистанционное зондирование морской поверхности, роль сигналов ионосферной “подсветки” выполняли не специальные передатчики, а широкоэмиттерные станции КВ диапазона, находящиеся на большом удалении от диагностируемых акваторий. Тонкий спектральный анализ КВ сигналов, отраженных от ионосферы, позволил обнаружить вблизи несущей частоты брегговские спектральные составляющие, обусловленные рассеянием сигнала “подсветки” взволнованной морской поверхностью [36]. Натурные эксперименты стимулировали разработку теоретической модели рассеяния [37], что в свою очередь дало возможность предложить новый метод дистанционного зондирования состояния мирового океана [38].

Высокая чувствительность КВ приемных устройств и низкий уровень шумов в Антарктике дали возможность исследовать эффекты сверхдальнего распространения декаметровых сигналов, включая кругосветные радиолинии. Впервые был обнаружен доплеровский сдвиг частоты прямого и кругосветного сигналов и предложена модель, интерпретирующая этот эффект [39]. Измерения на сверхдальних радиотрассах, выполненные совместно с российскими коллегами из Института солнечно-земной физики СО РАН (г. Иркутск), позволили диагностировать эффекты солнечного затмения в Антарктиде и восстановить глобальные изменения в ионосфере во время этого геофизического события [40]. Наряду с природными ионосферными возмущениями в Антарктике удалось впервые зарегистрировать эффекты рассеяния КВ сигналов искусственными плазменными неоднородностями, создаваемыми мощными НС, расположенными в Северном Заполярье. Одновременные регистрации излучения НС EISCAT (Тромсё, Норвегия), в Санкт-Петербурге (АНИИ, Россия), в Радиоастрономической обсерватории им. С. Я. Брауде (РИ НАНУ, Харьков) и в Антарктиде на УАС показали высокую корреляцию поведения интенсивностей и доплеровских спектров сигналов в периоды существования ИИТ. Это позволило предположить, что формирование сигнала НС на всех трех сильно отли-



чающихся радиолиниях обусловлено новым эффектом “саморассеяния” мощного радиоизлучения на им же созданных плазменных неоднородностях [41]. Эта гипотеза была подтверждена в ходе другой специальной нагревной кампании с использованием НС “Сура” (Нижний Новгород, Россия), и эффект “саморассеяния” получил международное признание [42]. В настоящее время совместно с Центром атмосферных исследований Масачусетского университета (г. Лоуэлл, США) выполняется партнерский проект НТЦУ по исследованию эффекта “саморассеяния” с использованием международной сети приемных пунктов в США, Европе, Антарктиде и в Арктике и мощнейшего нагревного стенда НААРР.

Важной особенностью расположения УАС является ее магнитное сопряжение с одним из наиболее промышленно развитых регионов земного шара – Северо-Восточным побережьем США. По нашей инициативе коллеги из США организовали магнитометрические измерения вблизи г. Бостона, во многом аналогичные тем, что ведутся на УАС. Это дало возможность провести согласованные исследования магнитосферного резонатора и разработать методику восстановления поперечных проводимостей ионосферы в обоих полушариях. Поляризационный анализ резонансных геомагнитных пульсаций выявил две характерные, ранее неизвестные, особенности их суточного поведения. В первом случае эллипс поляризации “отслеживал” движение Солнца по небесной сфере подобно головке подсолнуха – “эффект подсолнуха” [43]. Во втором – позиционный угол симметрично изменялся вблизи местного полудня – “эффект арки” [44]. Оригинальная теоретическая модель, разработанная в отделе, позволила идентифицировать источники возбуждения магнитосферного резонатора и восстановить суточные вариации поперечных проводимостей ионосферы [45].

Еще одна отличительная черта местоположения станции состоит в непосредственном соседстве с одним из наиболее метеорологически активных регионов Земли – проливом Дрейка. УАС находится на тихоокеанском побережье Антарктического полуострова. Многолетние метеонаблюдения показали, что в среднем за год над станцией проходит 50–60 мощных атмосферных фронтов, преимущественно циклонической природы. Нами было высказано предположение, что их прохождение должно сопровождаться возбуждением крупномасштабных атмосферных гравитационных волн (АГВ), которые могут распространяться на ионосферные высоты и приводить к модуляции электродинамических параметров динамо-области, а это, в свою очередь, должно стимулировать вариации магнитного поля на самой УАС и в магнитосопряженном регионе северного полушария [46].

Экспериментальная проверка этой гипотезы была проведена по семилетнему массиву данных одновременных регистраций вариаций давления и магнитного поля. Кросс-корреляционный анализ показал, что спустя  $30 \div 40$  мин после прохождения циклонического фронта над станцией и возбуждения квазипериодических вариаций приземного давления – АГВ, были зарегистрированы вариации магнитного поля в обоих полушариях с такими же временными периодами. Можно с уверенностью говорить о переносе атмосферных возмущений на высоты геокосмоса и связи двух погодных систем – “атмосферной” и “космической” [47]. Мощные возмущения в приземной атмосфере вызывают повышенную турбулизацию ионосферной плазмы на высотах главного максимума ионизации, приводя к образованию так называемого эффекта F-рассеяния. Совместный анализ семилетнего массива ионосферных, магнитных и метеорологических данных, полученных на УАС, позволил установить причины развития плазменной турбулентности в верхней ионосфере [48].

Антарктида является идеальным местом для наблюдения глобальной грозовой активности в СНЧ диапазоне, которая формируется преимущественно тремя приэкваториальными мировыми центрами, расположенными в Юго-Восточной Азии, Африке и Латинской Америке. На УАС организован непрерывный поляризационный мониторинг полей ШР, позволяющий отслеживать интенсивность “работы” грозových центров и определять местоположение сверхмощных грозových разрядов. Для интерпретации данных наблюдений разработана оригинальная аналитическая модель ШР, приближенно учитывающая анизотропные свойства ионосферной границы резонатора [49]. Учет анизотропии, в частности, приводит к кажущемуся смещению источника излучения в этом диапазоне. Наблюдения грозовой активности проводятся в тесном сотрудничестве с японскими коллегами, которые имеют аналогичные установки на своей антарктической станции “Сёва” и в Японии. Такая кооперация позволила осуществить трехпунктовую поляризационную локацию сверхмощных молниевых разрядов, получить их пространственно-временное распределение по земному шару. Сопоставление восстановленных в СНЧ диапазоне координат сверхмощных молний с синхронным оптическим спутниковым мониторингом грозových очагов показало хорошее соответствие [50]. Многолетние (с 2001 г.) непрерывные наблюдения поляризационных характеристик трех первых ШР позволили проследить сезонные и годовые тенденции в поведении глобальной грозовой активности, в частности, восстановить поведение средних интенсивностей в каждом из трех мировых центров [51]. Широкополосные



систематические СНЧ измерения в Антарктиде дают возможность исследовать “паразитные” излучения линий электропередач в северном полушарии. На станции уверенно наблюдаются сигналы на частоте 60 Гц, излучаемые энергосистемами США, отчетливо регистрируются суточные, недельные (“уикенд” эффект) и сезонные вариации мощности энергопотребления. По данным этих измерений была восстановлена динамика крупной аварии системы электроснабжения на северо-востоке США в августе 2003 г. [52]. За годы участия в антарктических исследованиях отделом опубликовано более 50 научных статей, представлено около 70 докладов на различных конференциях, опубликована монография “Геофизические проявления электромагнитных эффектов в Антарктике” под редакцией Л. Н. Литвиненко и Ю. М. Ямпольского [53] и защищены две кандидатские диссертации. За успешное освоение Антарктиды и постановку новых оригинальных исследований геокосмоса на шестом континенте Ю. М. Ямпольский по представлению НАНЦ МОН был удостоен звания “Заслуженный деятель науки и техники Украины”.

**Исследования ионосферы в Арктике.** С 2002 г. отдел направил свои усилия на изучение геокосмоса не только в средних широтах и в Антарктиде, но и в Арктике. Вместе с американским коллегами были проведены исследования эффекта мерцаний излучения дискретных космических источников на естественных и стимулированных ионосферных неоднородностях. В качестве приемных антенн использовались многолучевые ФАР панорамных риометров. Оригинальная методика, разработанная в ИР НАНУ, позволила воссоздать карту неоднородностей френелевых масштабов на небесной сфере над Аляской в спокойных и возмущенных ионосферных условиях [54]. Предложенная технология распространяется сейчас и на другие риометрические системы, расположенные на севере Скандинавии. В ходе этих исследований был прогнозирован и впервые обнаружен эффект ракурсного рассеяния декаметрового излучения дискретных космических источников на магнитно-ориентированных искусственных ионосферных неоднородностях возбуждаемых мощными НС [55]. Кроме эффекта мерцаний, нам удалось измерить стимулированное поглощение в нижней ионосфере и оценить повышение температуры электронов во время работы НС [56]. Эти исследования проводятся в соответствии с двусторонним договором о долгосрочном научном сотрудничестве между ИР НАНУ и Геофизическим институтом при университете г. Фэйрбенкса (Аляска, США), основной вклад в его реализацию с нашей стороны вносит д. ф.-м. н. В. Г. Без-

родный. В перспективе предполагается создание постоянно действующей пассивной системы диагностики полярной ионосферы с использованием декаметрового излучения дискретных космических источников.

Отдел с начала нового столетия активно сотрудничал в области ионосферных исследований с норвежскими коллегами из самого северного в мире Университета г. Тромсё. Это сотрудничество еще сильнее упрочилось после приглашения В. С. Белея на работу в Норвегию, где он и сегодня является одним из основных специалистов в области радарных и компьютерных технологий ионосферного зондирования. Поскольку на территории Норвегии находятся основные установки некогерентного ионосферного рассеяния и мощнейший в Европе НС, входящие в структуру европейского консорциума EISCAT, наши научные инициативы были направлены на постановку задач диагностики геокосмоса с использованием обсерваторных комплексов EISCAT и оригинальных технологий дистанционного зондирования, разработанных в РИ НАНУ. Перспективы и результаты такого сотрудничества неоднократно докладывались директором института Л. Н. Литвиненко и Ю. М. Ямпольским в Национальной академии наук, получили одобрение и поддержку президента НАНУ академика НАНУ Б. Е. Патона и Президиума НАНУ. В 2002 и 2004 гг. Киев и Харьков посещали научный и исполнительный директора EISCAT профессора А. Брекке (Норвегия) и Ван Айкен (Великобритания). В ходе этих визитов и переговоров о сотрудничестве был подписан меморандум о намерениях, утвержденный с украинской стороны вице-президентом НАН Украины академиком А. Г. Наумовцем. В результате Украина с 2006 г. принята в европейскую ионосферную организацию EISCAT в качестве ассоциированного члена. В 2007 г. Президиум НАН Украины выделил средства на проведение Первой международной школы Украина – EISCAT по исследованию геокосмоса, которая была успешно проведена в сентябре этого года в г. Евпатория. В качестве лекторов в ней приняли участие 5 ведущих ученых EISCAT и 8 представителей нашей страны. Число молодых украинских слушателей превысило 30 человек. В этом же году была утверждена долгосрочная научная программа участия Украины в EISCAT и начато целевое финансирование наших работ в Арктике. С 2009 г. Президиумом НАН Украины выделены специальные средства для оплаты членских взносов в EISCAT, и наша страна стала полноправным членом этого ведущего ионосферного консорциума, в который входят 7 европейских государств, Япония, Китай и Россия. Полномочным представителем нашей страны стал РИ НАНУ (<<http://www.eiscat.se/groups/Documentation/admin/Ukraine>>), и мы получили доступ к использованию всех радаров некогерентного



рассеяния в Европе, мощного НС в г. Тромсё (Норвегия), сети риометров, магнитометров, ионозондов и другого обсерваторного оборудования этой организации.

В соответствии с предложенной научной программой отдел в эти годы создает две ионосферные диагностические приемные системы в самой северной европейской обсерватории EISCAT на о. Свалбард ( $78^\circ$  с. ш.). Двухканальный когерентный КВ приемник, установленный здесь в 2007–2008 гг. к. ф.-м. н. А. В. Колосковым, управляется дистанционно через Интернет. Это позволяет в автоматическом режиме получать информацию о состоянии полярной ионосферы в реальном времени. Эта технология нашла свое успешное применение в низкочастотной обсерватории (НЧО) РИ НАНУ в с. Мартовое Харьковской обл., аналогичные приемные системы по нашей инициативе установлены в Москве (ИЗМИРАН) и в Иркутске (ИСЗФ СО РАН). Текущие данные этих установок можно найти на интернет-странице отдела (<http://geospace.ri.kharkov.ua/>). В ближайшее время в связи с предстоящей научной стажировкой к. ф.-м. н. А. С. Кашеева в Международном центре теоретической физики им. Абду Салама (г. Триест) предполагается установить еще один цифровой приемный пункт в Италии. Совместно с итальянскими коллегами планируется размещение таких же комплексов в ЮАР и Латинской Америке. Создание разветвленной сети автономных ВЧ приемников в разных регионах земного шара позволит проводить наблюдения нестационарных глобальных ионосферных процессов, в особенности в высоких широтах, с использованием широкоэмиттерных радиостанций и специальных исследовательских передатчиков ИСЗФ СО РАН. В частности, удалось регистрировать эффекты влияния на параметры ионосферы солнечных затмений в восточном и западном полушариях [57], а также разработать упрощенную модель этих явлений, хорошо описывающую процессы рекомбинации и ионизации на ионосферных высотах [58]. В настоящее время в рамках российско-украинского проекта, поддерживаемого Российским фондом фундаментальных исследований и НАН Украины, совместно с сибирскими коллегами создается система глобальной многопозиционной доплероскопии ионосферы с использованием передающих систем ИСЗФ в городах Иркутск, Магадан, Норильск и приемных пунктов РИ НАН в Украине, Европе, Арктике и Антарктиде. Руководителями проекта являются от России академик РАН Г. А. Жеребцов, а от Украины академик НАН Украины Л. Н. Литвиненко. Эффекты сверхдальнего и кругосветного распространения мощных КВ сигналов позволяют диагностировать проявления нелинейного взаимо-

действия электромагнитных полей с ионосферной плазмой [59] и создавать новые методы диагностики природных и техногенных возмущений в околоземном пространстве [60].

**Исследования спорадического излучения Юпитера.** Наряду с радиофизическим зондированием геокосмоса в отделе успешно проводятся радиоастрономические исследования спорадического излучения Юпитера, ведущая роль в их реализации принадлежит к. ф.-м. н. Г. В. Литвиненко. Эти работы ведутся в тесном сотрудничестве с отделом декаметрового радиоастрономии РИ НАНУ в рамках международной кооперации с австрийскими и российскими коллегами. В декаметровом диапазоне длин волн излучение Юпитера является одним из немногих планетарных излучений, уверенно принимаемым наземными обсерваториями. По современной классификации оно состоит из двух типов широкополосных радиобурь, L (Long, временной масштаб – единицы секунд,  $1 \div 100$  с) и S (Short, короткие импульсы с длительностью на одной частоте  $1 \div 100$  мс). Ведущая роль в мире по изучению спорадического излучения Юпитера в ВЧ диапазоне принадлежит РИ НАНУ благодаря уникальной чувствительности и пространственной избирательности радиотелескопа УТР-2. Создание широкополосной приемной системы, разработанной в институте в последнее десятилетие, еще более упрочило лидирующие позиции РИ НАНУ в этой области. Новое приемное оборудование в сочетании с современными методами обработки “быстрых” нестационарных процессов позволило установить, что практически все наблюдаемое спорадическое излучение Юпитера тем или иным образом модулировано. К числу новых результатов, полученных в РИ НАНУ можно отнести следующие:

1. Для восстановления поляризационных характеристик самого источника удалось исключить влияние эффекта фарадеевского вращения вектора поляризации спорадического излучения Юпитера в земной ионосфере [61].

2. Выполнены оценки минимальных частот приема декаметрового излучения для заданных значений геоцентрического склонения планеты, времени, места наблюдения, а также распределения ионосферных параметров в модельном приближении [62].

3. Доказано, что простые S-всплески Юпитера имеют внутреннюю тонкую микроструктуру, которая также может представлять собой один из видов модуляции декаметрового излучения. В частности, обнаружено, что простой S-всплеск состоит из серии коротких импульсов с длитель-



ностью порядка  $6 \div 15$  мкс, которые, в свою очередь, объединены в отдельные последовательности импульсного излучения длительностью от 20 до 150 мкс [63].

4. Анализ большого объема экспериментальных данных, полученных с помощью высокочувствительной приемной аппаратуры и УТР-2, позволил впервые с уверенностью утверждать, что эффект “модуляционных дорожек” на динамических спектрах декаметрового излучения Юпитера присутствует всегда. Визуально он проявляется на спектрах с временным разрешением  $1 \div 100$  мс для интервалов регистрации порядка десятков секунд [64]. Впервые было обнаружено, что кривизна “дорожек” и величина частотного дрейфа для различных видов “модуляционных эффектов” не всегда одинакова.

Данные исследования проводятся в отделе при их частичной поддержке со стороны Австрийской академии наук и фондов фундаментальных исследований Украины и Российской Федерации. Их перспективность растет в связи с возрастающим в мире интересом к низкочастотной радиоастрономии, созданием антенных систем нового поколения – LOFAR (Low Frequency Array) и LWA (Low Wavelength Array), а также существенной модернизацией радиотелескопа УТР-2.

### **Космические исследования околоземного пространства.**

Все годы своего существования отдел активно работал в интересах Национального космического агентства Украины (НКАУ). В середине 90-х под руководством РИ НАНУ были разработаны научные концепция и программа спутникового проекта “Попередження”, направленного на поиск сейсмо-ионосферных предвестников землетрясений. В рамках проекта была предложена система подспутникового ионосферного зондирования (СПИЗ), один из элементов которой реализован сегодня на УАС “Академик Вернадский”. Отдел принял активное участие в обобщении научных предложений по исследованию геокосмоса с борта МКС, было проанализировано свыше пятидесяти научных проектов от различных организаций Украины и разработана концепция по созданию исследовательской лаборатории на борту МКС. Совместно с ИКИ РАН и ЛЦ ИКИ НАНУ-НКАУ отдел принимает участие в реализации уникального космического проекта “Резонанс”, в ходе которого по нашему предложению предполагается на высокоорбитальной спутниковой группировке в геокосмосе создать интерферометр МГД волн. В 2004 г. по заданию НКАУ институт и отдел выступили в роли головной организации по разработке научно-организационных пред-



ложений по созданию Национальной программы “Космическая погода”. Основной идеей оригинального вклада Украины в разработку этой международной научной концепции являлся учет взаимодействия двух погодных систем – атмосферной и космической. Проявления и механизмы такого взаимодействия были исследованы в течение многих лет в высоких и средних широтах и суммированы в итоговой публикации [65]. В 2006 г. с участием Ю. М. Ямпольского был инициирован оригинальный космический проект “Ионосат”, целью которого является многопозиционный спутниковый мониторинг газоплазменных и полевых характеристик геокосмоса на ионосферных высотах [66, 67]. Разработаны научная концепция и программа проекта “Ионосат”, он включен в Государственную программу космических исследований Украины на 2008–2012 гг. Научным руководителем проекта в целом является академик НАН Украины Л. Н. Литвиненко. За РИ НАНУ и отделом закреплена роль головной организации по созданию системы подспутникового ионосферного мониторинга (СПИМ). В настоящее время сотрудники отдела активно используют современные технологии радиопросвечивания ионосферы излучением бортовых передатчиков глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Специальные методики многопозиционной обработки спутниковых данных позволили воссоздать волновые процессы, возбуждаемые мощными тропосферными фронтами над Антарктическим полуостровом [68] и над Западной и Центральной Европой [69].

За комплекс работ по космической тематике руководитель отдела Ю. М. Ямпольский с группой коллег из Киева, Львова и Днепропетровска в 2008 г. удостоен Государственной премии Украины в области науки и техники.

**Низкочастотная обсерватория РИ НАНУ.** В силу структурных преобразований в институте в 2009 г. в состав отдела стала входить низкочастотная обсерватория РИ НАНУ (НЧО), расположенная в с. Мартове Харьковская обл. Тематически это подразделение было связано с исследованиями, проводимыми в отделе с момента его образования. В настоящее время обсерватория насчитывает 10 сотрудников, а возглавляет ее работу В. Е. Пазнухов. Она расположена на берегу Печенежского водохранилища (49°56′ с. ш., 36°57′ в. д.) и занимает территорию 0,57 га. Строительство НЧО было начато в 1977 г. и стимулировалось выполнением исследований полей СНЧ диапазона в интересах прикладных оборонных работ по созданию систем связи с погруженными под воду объектами.



В последние 20 лет основное назначение обсерватории – исследование электромагнитных процессов в геокосмосе пассивными приемными методами в широком диапазоне частот, от сотых долей герца до десятков мегагерц. В настоящее время НЧО оснащена шестью современными диагностическими комплексами: комплексом СНЧ регистрации глобальной грозовой активности, прецизионными магнитометрами для измерения УНЧ вариаций магнитного поля, цифровым двухканальным когерентным ВЧ приемником, мюонным телескопом, двухчастотным ГНСС приемником для реконструкции вариаций полного электронного содержания в ионосфере и автоматической метеорологической станцией, регистрирующей возмущения атмосферной погоды. НЧО оснащена системами жизнеобеспечения, бесперебойного энергоснабжения, отопления, пожарной и охранной сигнализации, а также системами компьютерной регистрации и трансляции данных по сети Интернет, калибровки и дистанционного управления комплексами. Набор такого оборудования позволяет вести наблюдения в непрерывном мониторинговом, практически автоматическом, режиме. Уникальность состава измерительных датчиков и получаемых результатов позволила выдвинуть этот объект на соискание статуса Национального достояния Украины, который будет присвоен НЧО в 2011 г. В годы независимости Украины обсерватория выполняла еще и ряд дополнительных функций. Она служила учебно-тренировочной базой для подготовки экипажей зимовщиков на УАС (2002–2006 гг.), а теперь выполняет роль метрологического полигона для испытания научного оборудования, предназначенного для установки в Антарктике. Близость обширной водной поверхности позволяет проводить испытания локационного оборудования, разрабатываемого в РИ НАНУ в отделе электронных СВЧ приборов. В перспективе планируется создание в НЧО одного из национальных центров подспутникового мониторинга ионосферы по проекту “Ионосат”. Ей также отведена роль основного опорного пункта для создания глобального СНЧ интерферометра, в состав которого будут входить установки, расположенные на УАС, в Арктике и в Сибири. Основные структурные характеристики СНЧ комплекса последнего поколения опубликованы в работе [70]. В обсерватории выполняются также исследования влияния слабых природных низкочастотных полей на психофизиологическое состояние человека. Эти работы проводятся в содружестве с группой профессора В. И. Сухорукова из Института неврологии, психиатрии и наркологии АМН Украины [70].

За годы своего существования отдел инициировал множество международных научных проектов и программ, часть из которых была реализована в рамках двух ISF и трех NSF (США) грантов, трех регулярных и двух

партнерских проектов НТЦУ, трех прямых договоров с исследовательскими организациями США и Канады, а также украинско-российских договоров по линиям МОН и НАН Украины. В 2003–2006 гг. в отделе выполнялся INTAS проект в содружестве с девятью исследовательскими группами из шести европейских стран и России. Многие сотрудники отдела командировались в ведущие исследовательские лаборатории, университеты и научные центры США, Великобритании, Германии, Швеции, Австрии, Канады, Австралии, Норвегии, Италии, Венгрии и др. Некоторые из них в настоящее время стажировались и работают в этих странах, не прерывая научного сотрудничества с “материнским” отделом.

В настоящее время отдел радиофизики геокосмоса насчитывает 27 сотрудников, в том числе одного член-корреспондента НАН Украины, двух докторов и 6 кандидатов наук, одного доктора философии и двух аспирантов очной формы обучения. Средний возраст сотрудников отдела составляет 49 лет.

### Основные публикации

1. Блюх П. В., Брюховецкий А. С. Фокусировка радиоволн искусственно созданной ионосферной линзой // Геомагнетизм и аэрномия. – 1969. – Т. 9, №3. – С. 545-549.
2. Блюх П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля–ионосфера. – Киев: Наукова думка, 1977. – 199 с.
3. Безродный В. Г., Блюх П. В., Шубова Р. С., Ямпольский Ю. М. Флуктуации сверхдлинных радиоволн в волноводе Земля–ионосфера. – М.: Наука, 1984. – 234 с.
4. Блюх П. В., Минаков А. А. Гравитационные линзы. – Киев: Наукова думка, 1989. – 240 с.
5. Bliokh P. V., Sinitsin V. G., Yaroshenko V. V. Dusty and self-gravitational plasmas in space. – Cluver Academic Publ., 1995. – 256 p.
6. Брауде С. Я., Мень А. В., Содин Л. Г. Радиотелескоп декаметрового диапазона волн УТР-2. В сб. Антенны. – М.: Связь. – 1978. – Вып. 26. – С. 12-35.
7. Блюх П. В., Галушко В. Г., Ямпольский Ю. М. О восстановлении профиля электронной концентрации F-области ионосферы по измерениям поля КВ сигналов вблизи каустики. В сб. “Распространение радиоволн в ионосфере”. – М.: ИЗМИРАН. – 1983. – С. 34-37.
8. Блюх П. В., Галушко В. Г., Ямпольский Ю. М. Определение параметров параболической модели ионосферы по измерениям КВ сигналов вблизи каустики. В сб. “Проблемы дифракции и распространения волн”. – Л.: Изд. ЛГУ. – 1986. – С. 46-53.
9. Блюх П. В., Галушко В. Г., Минаков А. А., Ямпольский Ю. М. Флуктуации интерференционной структуры поля вблизи границы мертвой зоны // Известия вузов. Радиофизика. – 1988. – №6. – С. 475-483.



10. Анютин А. П., Галушко В. Г., Ямпольский Ю. М. О возможности определения поглощения в отклоняющей области ионосферы по измерению поля вблизи границы мертвой зоны // Известия вузов. Радиофизика. – 1985. – №2. – С. 134-139.
11. Анютин А. П., Галушко В. Г., Порохов. И. В., Ямпольский Ю. М. О восстановлении модельного профиля электронной концентрации F-слоя ионосферы по огибающей прикаустического поля // Геомагнетизм и аэрномия. – 1990. – №1. – С. 23-29.
12. Galushko V. G., Yampolski Yu. M. Ionospheric diagnostics using wave field diffraction near the caustic // Radio Science. – 1996. – Vol. 31, No. 5. – P.1109-1118.
13. Галушко В. Г., Соколов К. П., Ямпольский Ю. М. Наблюдаемость дискретных космических источников и условия распространения КВ // В сб. Распространение радиоволн в ионосфере – М.: ИЗМИРАН. – 1983. – С.131-135.
14. Белей В. С., Галушко В. Г., Ямпольский Ю. М. Об одном способе определения формы отражающей поверхности // Известия вузов. Радиофизика. – 1986. – №3. – С. 212-216.
15. Beley V. S., Galushko V. G., Yampolski Yu. M. Traveling Ionospheric Disturbance Diagnostics Using HF Signal Trajectory Parameter Variations // Radio Science. – 1995. – Vol. 30, No. 6. – P. 1739-1752.
16. Галушко В. Г. О возможности частотно-углового зондирования ионосферы // Известия вузов. Радиофизика. – 1991. – Т. 34, №7. – С. 850-853.
17. Галушко В. Г., Егорова В. Н., Кольцов В. В., Литвиненко Г. В., Пикулик И. И., Ямпольский Ю. М. Восстановление профиля электронной концентрации ионосферы по данным частотно-углового зондирования: Препр. / РИ АН Украины; № 59. – Харьков: 1992. – 20 с.
18. Galushko V. G., Paznukhov V. V., Yampolski Y. M. and Foster J. C. Incoherent scatter radar observations of AGV/TID events generated by the moving solar terminator // Ann. Geophysicae. – 1998. – Vol. 16, No. 23. – P. 821- 827.
19. Galushko V. G., Beley V. S., Koloskov A. V., Yampolski Yu. M., Reinisch B. W., Paznukhov V. V., Foster J. C., and Erickson P. J. Frequency-and-Angular HF Sounding and VHF ISR Diagnostics of TIDs // Radio Science. – 2003. – Vol. 38, No. 6. – P. 1102-1115.
20. Пикулик И. И., Кашеев С. Б., Галушко В. Г., Ямпольский Ю. М. Приемный КВ комплекс для частотно-углового зондирования ионосферных возмущений в Антарктиде // Украинский антарктический журнал. – 2003. – №1. – С. 61-69.
21. Галушко В. Г., Литвиненко Г. В. Восстановление трехмерно-неоднородной структуры электронной концентрации ионосферы методом частотно-углового зондирования // Радиофизика и радиоастрономия. – 2001. – Т. 6, №3. – С. 222-229.
22. Безродный В. Г., Пономаренко П. В., Ямпольский Ю. М. Рассеяние декаметровых радиоволн ионосферными неоднородностями на частотах выше МПЧ // Ионосферные исследования. – 1989. – С. 111-125.
23. Bezrodny V. G., Ponomarenko P. V., Yampolski Y. M. Application of Polarimetric sounding to HF ionospheric remote sensing // Radio Science. – 1997. – Vol. 32, No. 1. – P. 219-229.
24. Беленов А. Ф., Пономаренко П. В., Сеницын В. Г., Ямпольский Ю. М. О природе квазипериодических вариаций доплеровского смещения частоты КВ радиосигналов, рассеянных областью ИИТ // Известия вузов. Радиофизика. – 1992. – №3. – С. 234-243.

25. Yampolski Yu. M., Beley V. S., Kascheev S. B., Koloskov A. V., Somov V. G., Hysell D. L., Isham B. and Kelley M. C. Bistatic HF radar diagnostics induced field-aligned irregularities // *J. Geophys. Res.* – 1997. – Vol. 102, No. A4. – P. 7461-7467.
26. Ямпольский Ю. М. Эхо-рассеяние КВ сигналов на искусственной ионосферной турбулентности // *Известия вузов. Радиофизика.* – 1989. – №6. – С. 457-461.
27. Belenov A. F., Erukhimov, Ponomarenko P. V., and Yampolski Yu. M. Interaction between artificial Ionospheric turbulence and geomagnetic pulsations // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* – 1997. – Vol. 59, No. 18. – P. 2367-2372.
28. Sinitin V. G., Kelley M. C., Yampolski Yu. M., Hysell B., Isham D. L., Zalizovski A. V., and Ponomarenko P. V. Ionospheric conductivities according to Doppler radar observations of stimulated turbulence // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* – 1997. – Vol. 61, No. 11. – P. 903-912.
29. Ponomarenko P. V., Zalizovski A. V., Yampolski Yu. M., Hysell D. L. Interaction between artificial ionospheric irregularities and natural MHD waves // *J. Geophys. Res.* – 2000. – Vol. 105, No. A1. – P. 171-181.
30. Koloskov A. V., Leiser T. B., Yampolski Yu. M., and Beley V. S. HF pump-induced scale radial drift of small scale magnetic field-aligned density striation // *J. Geophys. Res.* – 2002. – Vol. 107, No. A7. – P. 1726-1735.
31. Hysell D. L., Kelley M. S., Yampolski Yu. M., Beley V. S., Koloskov A. V., Ponomarenko P. V., and Tyrnov O. F. HF Radar observations of decaying artificial field-aligned irregularities // *J. Geophys. Res.* – 1996. – Vol. 101, No. A12. – P. 1654-1668.
32. Yampolski Yu. M., Bliokh P. V., Beley V. S., Galushko V. G., and Kascheev S. B. Non-Linear Interaction between Schumann Resonances and HF Signals // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* – 1997. – Vol. 59, No. 3. – P. 335-342.
33. Yampolski Y. M., Beley V. S., Kascheev S. B., Lazebny B. V., Paznukhov V. E., Rokhman A. G. Cross-mode modulation effect in Schumann resonances // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* – 1999. – Vol. 61, No. 6. – P. 693-699.
34. Hysell D. L., Kelley M. C., Gurevich A. V., Karash-tin A. N., Babichenko A. M., Yampolski Y. M., Beley V. S., and Providakes J. F. HF radar probing of the lower magnetosphere // *J. Geophys. Res.* – 1997. – Vol. 102, No. A3. – P. 4865-4873.
35. Корепанов В., Литвиненко Л., Литвинов В., Міліневський Г., Ямпольський Ю. Електромагнітний полігон наземної підтримки супутникових експериментів на українській антарктичній станції // *Космічна наука і технологія.* – 2004. – Т. 10, №2/3. – С. 74-80.
36. Кашеев С. Б., Ямпольский Ю. М., Зализовский А. В. Двухпозиционное зондирование взволнованной морской поверхности сигналами КВ широкоэвещательных станций // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2001. – Т. 6, №2. – С. 79-88.
37. Брюховецкий А. С., Кашеев А. С., Кашеев С. Б., Ямпольский Ю. М. Двухпозиционное рассеяние взволнованной морской поверхностью. I. Теория // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2003. – Т. 8, №3. – С. 235-241.
38. Кашеев А. С., Кашеев С. Б., Ямпольский Ю. М., Колосков А. В., Пикулик И. И., Брюховецкий А. С. Двухпозиционное рассеяние взволнованной морской поверхностью. II. Эксперимент // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2003. – Т. 8, №3. – С. 242-252.



39. Зализовский А. В., Галушко В. Г., Кашеев А. С., Ямпольский Ю. М., Егоров И. Б., Попов А. В. Доплеровская селекция путей распространения КВ радиосигнала на сверхдальней трассе // В сб.: Распространение радиоволн, 21-я Всеросс. научная конференция. Т. 2. – РАН, МОН РФ, Йошкар-Ола. – 2005. – С. 68-72.
40. Kascheev S. B., Kascheev A. S., Kurkin V. I., Yampolski Yu. M., Zalizovsky A. V. Effects of very long-range HF propagation along the Irkutsk – "Akademik Vernadsky" link. Abstracts // Second Ukrainian Antarctic Meeting. – Kiev. – 2004. – P. 73.
41. Зализовский А. В., Кашеев С. Б., Ямпольский Ю. М., Галушко В. Г., Белей В. С., Айшем Б., Ритвелд М., Ла Хоз С., Брекке А., Благовещенская Н. Ф., Корниенко В. А. Спектральные особенности КВ сигнала нагревного стенда EISCAT в Европе и Антарктике // Радиофизика и радиоастрономия. – 2004. – Т. 9, №3. – С. 261-273.
42. Yampolski Yu. M., Zalizovski A. V., Galushko V. G., Koloskov A. V., Kascheev S. B. Self scattering effect of powerful HF radiation as observed in Europe and Antarctica // RF Ionospheric Interactions Workshop. Book of Abstracts. – Santa Fe. – 2005. – P. 78-81.
43. Зализовский А. В., Ямпольский Ю. М., Корепанов В. Е., Доценко И. Ф. Поляризационные исследования пульсаций Pc3, Pc4 на антарктической станции "Академик Вернадский" ("эффект подсолнуха") // Радиофизика и радиоастрономия. – 2001. – Т. 5, №2. – С. 118-124.
44. Зализовский А. В., Сеницын В. Г., Ямпольский Ю. М. Поляризация геомагнитных пульсаций Pc3/Pc4 в Северном и Южном полушариях: экспериментальные данные и численное моделирование // Радиофизика и радиоастрономия. – 2001. – Т. 6, №4. – С.302-309.
45. Sinitin V. G., Yampolski Y. M., Zalizovski A. V., Groves K. M., Moldwin M. B. Spatial field structure and polarization of geomagnetic pulsations in conjugate areas // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. – 2003, No. 65. – P. 1161-1167.
46. Yampolski Yu., Korepanov V. Antarctic peninsula troposphere-stratosphere-ionosphere coupling and conjugate events investigation // Workshop for Planning the SCAR Scientific Program, ICESTAR: April 22-23. Book of Abstracts. – Nice (France). – 2004. – P. 43-45.
47. Ямпольский Ю. М., Зализовский А. В., Литвиненко Л. Н., Лизунов Г. В., Гровс К., Молдвин М. Вариации магнитного поля в Антарктике и сопряженном регионе (Новая Англия), стимулированные циклонической активностью // Радиофизика и радиоастрономия. – 2004. – Т. 9, №2. – С.130-151.
48. Силин П. В., Зализовский А. В., Ямпольский Ю.М. Эффекты ионосферного F-рассеяния на антарктической станции "Академик Вернадский" // Радиофизика и радиоастрономия. – 2005. – Т. 10, № 1. – С.30-37.
49. Безродный В. Г. Асимптотическая теория полей шумановских резонансов в гиротропной полости Земля–ионосфера // Радиофизика и радиоастрономия. – 2004. – Т. 9, №4. – С. 375-390.
50. Колосков А. В., Буданов О. В., Безродный В. Г., Ямпольский Ю. М. Определение местоположений сверхмощных молниевых разрядов на основе поляризационных магнитных измерений в диапазоне шумановских резонансов // Радиофизика и радиоастрономия. – 2004. – Т. 9, №4. – С. 391-403.

51. Колосков А. В., Безродный В. Г., Буданов О. В., Пазнухов В. Е., Ямпольский Ю. М. Поляризационный мониторинг шумановских резонансов в Антарктике и восстановление характеристик мировой грозовой активности // Радиофизика и радиоастрономия. – 2005. – Т. 10, №1. – С. 11-29.
52. Колосков А. В., Ямпольский Ю. М. Наблюдения излучения энергосистем Североамериканского континента в Антарктике // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009. – Т. 14, №4. – С. 367-376.
53. Электромагнитные проявления геофизических эффектов в Антарктиде / Под ред. Л. Н. Литвиненко, Ю. М. Ямпольского. – Харьков: РИ НАНУ, НАНЦ МОНУ, 2005. – 342 с.
54. Bezrodny V. G., Charkina O. V., Galushko V. G., Watkins B., Groves K., and Yampolsky Yu. M. Application of an imaging HF riometer for the observation of scintillations of discrete cosmic sources // Radio Sci. – 2008. – doi:10.1029/2007RS003721.
55. Yampolski Y., Watkins B., Bezrodny V., Galushko V., Groves K., Charkina L., and Kascheev A. Investigating the Scintillations of Discrete Cosmic Source Radiation Due to HAARP-Stimulated Irregularities Using the New Imaging Riometer at Gakona // Proc. 14<sup>th</sup> Annual RF Ionospheric Interactions Workshop. – Boulder, CO (USA). – 2008.
56. Bezrodny V. G., Charkina O. V., Yampolski Y. M., Watkins B., and Groves K. Stimulated Ionospheric Scintillations and Absorption of Discreet Cosmic Sources Radiation Investigated with an Imaging HF Riometer // Radiofizika i Radioastronomia. – 2010. – Vol. 15, No. 2. – P. 151-163 (in Russian).
57. Кашеев С. Б., Колосков А. В., Зализовский А. В., Галушко В. Г., Пикулик И. И., Ямпольский Ю. М., Куркин В. И., Литовкин Г. И., Орлов А. И., Петько П. В. Экспериментальные исследования спектральных характеристик КВ сигналов на дальних и сверхдальних трассах // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009. – Т. 14, №1. – С. 12-25.
58. Кашеев С. Б., Зализовский А. В., Колосков А. В., Галушко В. Г., Пикулик И. И., Ямпольский Ю. М., Куркин В. И., Литовкин Г. И., Орлов А. И. Вариации частоты КВ сигналов на протяженных трассах во время солнечного затмения // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009. – Т. 14, №4. – С. 353-366.
59. Zalizovski A. V., Kasheev S. B., Yampolski Yu. M., Galushko V. G., Belyey V., Isham B., Rietveld M. T., La Hoz C., Brekke A., Blagoveshchenskaya N. F., and Kornienko V. A. Self-scattering of a powerful HF radio wave on stimulated ionospheric turbulence // Radio Sci. – 2009. – Vol. 44. – RS3010, doi:10.1029/2008RS004111.
60. Зализовский А. В., Галушко В. Г., Кашеев А. С., Колосков А. В., Ямпольский Ю. М., Егоров И. Б., Попов А. В. Доплеровская селекция КВ-радиосигналов на сверхдальних трассах // Геомагнетизм и аэрономия. – 2007. – Т. 47, №5. – С. 674-684.
61. Ladreiter H. P., Litvinenko G. V., Boudjada M. Y., and Rucker H. O. Faraday rotation in Jupiter's decametric radio emission used for remote sensing of the terrestrial ionosphere and the emission's region at Jupiter // Planet. Space Sci. – 1995. – Vol. 43. – P. 1595-1605.
62. Litvinenko G. V., Rucker H. O., and Ladreiter H. P. On the minimum ground-based observable frequency of the Jovian decametric emission imposed by the terrestrial ionosphere // Radio Sci. – 1996. – Vol. 36. – P. 227-231.



63. Litvinenko G. V., Rucker H. O., Vinogradov V. V., Leitner M., and Shaposhnikov V. E. Internal structure of the Jovian simple S-burst obtained with the wavelet analysis technique // *Astron. Astrophys.* – 2004. – Vol. 426. – P. 343-351.
64. Litvinenko G. V., Lecacheux A., Rucker H. O., Konovalenko A. A., Ryabov B. P., Vinogradov V. V., Shaposhnikov V. E., and Taubenschuss U. Modulation structures in the dynamic spectra of the Jovian radio emission obtained with high time-frequency resolution // *Astron. Astrophys.* – 2009. – Vol. 493, No. 2. – P. 651-661.
65. Ямпольский Ю. М., Зализовский А. В., Занимонский Е. М., Лизунов Г. В., Лисаченко В. Н. Связь атмосферной и космической погодных систем // *Космічна наука і технологія.* – 2008. – Т. 14, №5. – С. 6-36.
66. Івченко В. Н., Корепанов В. С., Лізунов Г. В., Федоров О. П., Ямпольський Ю. М. Іоносферний супутниковий проект “Іоносат” // *Космічна наука і технологія.* – 2007. – Т. 13, №3. – С. 55-66.
67. Korepanov V., Lizunov G., Fedorov O., Ivchenko V., and Yampolsky Yu. IONOSAT – Ionospheric satellite cluster // *Adv. Space Res.* – 2008. – Vol. 42, Issue 9. – P. 1515-1522.
68. Лисаченко В. Н., Занимонский Е. М., Ямпольский Ю. М., Вельгош П. Исследование вариаций полного электронного содержания ионосферы в регионе Антарктического полуострова // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2007. – Т. 12, №2. – С. 20-32.
69. Занимонский Е. М., Зализовский А. В., Лисаченко В. Н., Сопин А. А., Ямпольский Ю. М. Ионосферные вариации над Европой, стимулированные мощным тропосферным событием // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2010. – Т. 15, №2. – С. 164-170.
70. Пазнухов В. Е., Буданов О. В., Рохман А. Г., Аристов Ю. В. Приемно-измерительный комплекс СНЧ диапазона с УКВ ретранслятором // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2010. – Т. 15, №1. – С. 39-49.
71. Литвиненко Л. Н., Аристов Ю. В., Блюх П. В., Буданов О. В., Лазебный Б. В., Пазнухов В. Е., Рохман А. Г., Сухоруков В. И., Сербиненко И. А., Забродина Л. П. Влияние электромагнитных полей на биоэлектрическую активность головного мозга // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 1998. – Т. 3, №3. – С. 312-319.