

Решение актуальных проблем распространения радиоволн, телекоммуникации, радиолокации, дистанционного радиозондирования геокосмоса и физической экологии

(Л. Ф. Черногор)

Введение

Радиофизический факультет предназначался для подготовки специалистов широкого профиля в области радиофизики, радиолокации и электроники. В условиях «холодной» войны перед страной стояли три важнейшие проблемы — разработка ядерных вооружений, средств их доставки (межконтинентальных ракет) и радиосистем обнаружения, сопровождения и наведения. Одну из этих проблем должны были решать выпускники радиофизического факультета.

К началу 1960-х гг. стало ясно, что в условиях Третьей мировой войны (если таковую развяжут) околоземный космос (геокосмос) станет театром военных действий. Но и в мирное время геокосмос — арена для отработки новейших технологий в области ракетно-космической техники, радиолокации, радионавигации, телекоммуникаций и т. п. Для решения подобных задач нужны были высококвалифицированные специалисты широкого профиля, владеющие основами как радиофизики, так и физики геокосмоса. Их стали готовить на кафедре космической радиофизики, созданной в Харьковском государственном университете имени А. М. Горького в 1964 г. О существовании радиофизического факультета я узнал на рубеже 1966—1967-х гг. В это время я заканчивал учиться в средней школе и мне необходимо было выбрать вуз. Как участник (а иногда и победитель) ряда олимпиад я получил письмо с приглашением поступать на радиофизический факультет. Там же был перечень кафедр факультета. Это приглашение совпадало с моими желаниями, так как уже несколько лет я занимался радиотехникой, знал азы этой науки. Кроме того, мне нравилась математика и физика.

В 1967 г. я стал студентом радиофизического факультета. В конце третьего курса необходимо было выбирать специализацию. О кафедрах я тогда не знал почти ничего. Модными считались специализации радиофизики (затем теоретической радиофизики) и квантовой электроники (затем квантовой радиофизики). На эти специализации шли студенты-отличники. Многие студенты учились посредственно, они выбрали такие специализации, где «жилось легко». Это к ним относились

«радиоизмерения», «полупроводники», «электроника», «физика СВЧ» и «антенны».

Я указал в своем заявлении три специализации: космическая радиофизика, квантовая электроника и радиофизика. Последняя мне очень нравилась, но всякое желание учиться на этой кафедре у меня отбила доцент С. С. Калмыкова — она неумело прочитала нам основной радиофизический курс — электродинамику. И хотя я посетил все лекции, основами электродинамики мне пришлось овладевать самостоятельно по книгам из курса «Теоретической физики» Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица. Поэтому экзамен Светлане Сергеевне я сдал на оценку «отлично».

О квантовой электронике я знал очень мало, но квантовая механика мне очень нравилась. Курс квантовой механики нам читал замечательный лектор доцент Л. Э. Паргаманик.

Старшекурсники не советовали идти учиться на кафедру космической радиофизики, там был заведующий кафедрой профессор В. А. Мисюра, им пугали студентов. В 1960-х гг. сами термины «космос», «космический» были очень популярны и я, не раздумывая, на первое место поставил кафедру космической радиофизики. Поскольку я был отличником, деканат удовлетворил мое желание. Так в 1970 г. я оказался на кафедре космической радиофизики.

В. А. Мисюра в 1941 г. закончил физико-математический факультет ХГУ имени А. М. Горького. В 1941–1945 гг. он учился в военной академии Военно-воздушных сил имени Н. Е. Жуковского. С 1947 г. по 1949 г. В. А. Мисюра — адъюнкт Артиллерийской радиотехнической академии (АРТА) (г. Харьков). Его руководителем был А. И. Ахизер — ученик Л. Д. Ландау, крупнейший отечественный физик. До 1968 г. В. А. Мисюра служил в этой академии. В 1964 г. он защитил докторскую диссертацию. В. А. Мисюра первым в Украине с целью совершенствования радиолокации и функционирования радиолиний начал исследовать ионосферу (геокосмос).

1. Традиционные научные направления кафедры космической радиофизики

Осенью 1970 г. профессор В. А. Мисюра пригласил меня в свой кабинет и задал вопрос:

— Чем бы Вы хотели заниматься?

— А что Вы можете предложить? — спросил я.

В. А. Мисюра рассказал мне, что на кафедре есть три следующих научных направления:

1. Исследование ионосферы при помощи радиосигналов искусственных спутников Земли (ИСЗ) на основе эффектов Доплера и Фарадея.

2. Исследование ионосферы при помощи метода некогерентного рассеяния радиоволн.

3. Распространение радиоволн в околоземном космосе.

Он сообщил, что задачи в рамках этих направлений решают В. Я. Блудов, Г. Н. Зинченко, И. И. Капанин, В. А. Поднос и др.

Затем В. А. Мисюра добавил, что ему очень хотелось бы возродить еще одно научное направление — космические эффекты высотных ядерных взрывов. Этим он занимался в 1960-х гг. в АРТА. Эффекты высотных ядерных взрывов составили основу его докторской диссертации.

Именно это четвертое научное направление заведующий кафедрой хотел предложить мне и при этом добавил:

— У Вас аналитический склад ума. Вам больше нравятся теоретические исследования, у Вас хорошая физико-математическая подготовка, Вам, и карты в руки.

Я пообещал подумать.

О физических эффектах высотных (космических) ядерных взрывов в 1970 г. я ничего не знал. Тема, безусловно, казалась интересной. Но ряд факторов меня настораживал. Я знал, что международными договорами ядерные взрывы в атмосфере и космосе были запрещены. Следовательно, новых экспериментов не будет, в лучшем случае придется довольствоваться старыми данными. Последние уже как-то интерпретированы и описаны в специальной (т. е. секретной) литературе моими предшественниками. Кроме того, эта тематика относилась к совершенно секретной, и для занятия ею еще надо было получить допуск. Если бы я занялся взрывами, как я понял со слов В. А. Мисюры, мне пришлось бы рассчитывать только на свои силы, начинать все «с нуля». Никакой литературы по этой тематике (кроме докторской диссертации В. А. Мисюры) в университете не было и, скорее всего, не будет. Все эти обстоятельства заставили меня отказаться от предложения нашего заведующего кафедрой.

2. Модификация ионосферы мощным радиоизлучением

Осенью 1970 г. два спецкурса нам стал читать замечательный педагог (впоследствии профессор), заведующий теоретическим отделом распространения радиоволн и ионосферы (ТОРРИ) ИРЭ АН УССР П. В. Блюх. Он, как и В. А. Мисюра, тоже обратил внимание на меня и спросил:

— Не хотите ли Вы выполнять курсовую и дипломную работу под моим руководством?

Я сразу же согласился. Павел Викторович сказал, что в США в этом году проведена серия интересных экспериментов по модификации ионосферы мощным радиоизлучением ВЧ диапазона. Результаты этих экспериментов опубликованы в американском журнале *J. of Geophysical Research (Space Physics)*. Кроме того, П. В. Блюх добавил, что подобной тематикой, но в теоретическом плане, давно занимаются в СССР академик В. Л. Гинзбург и его ученик доктор физико-математических наук А. В. Гуревич, и порекомендовал ознакомиться с их обзорной статьёй, опубликованной в журнале УФН в 1960 г.* Сам П. В. Блюх (вместе с А. С. Брюховецким) незадолго до нашего разговора опубликовал статью об искусственной линзе в ионосфере, создаваемой мощным пучком радиоволн. Я прочитал эти статьи. Тематика показалась мне захватывающей. Открывалась реальная перспектива активно управлять ионосферой и ионосферными каналами распространения радиоволн, «улучшать» условия распространения «своих» радиосигналов и «подавлять» радиосигналы «противника». Управление ионосферой базировалось на изменении ее параметров (температуры и концентрации электронов, плазменной турбулентности и т. п.) и свойств (преломляющих, отражающих, поглощающих, рассеивающих и т. п.).

П. В. Блюх «организовал» мне пропуск в ИРЭ АН УССР и обратился с просьбой к заведующему кафедрой разрешить мне писать курсовую, а затем и дипломную работу под его руководством в ИРЭ АН УССР. На это В. А. Мисюра ответил категоричным отказом:

— Вы хотите увести лучшего нашего студента. Нет и еще раз нет.

Затем я сам подошел к В. А. Мисюре и попросил разрешения работать с П. В. Блюхом и тоже получил отказ. Уходя из кабинета, я спросил:

— Значит, у меня не будет руководителя?

— Будет, — ответил заведующий кафедрой. — Выбирайте, кто Вас устроит. У нас есть старший научный сотрудник В. Я. Блудов, инженеры А. Г. Нерух и А. Г. Тыжненко. Последние два отказались сами — они в это время уходили с кафедры в аспирантуру к лучшему из лучших руководителей — профессору Н. А. Хижняку. В. Я. Блудов согласился, но сказал, что ему некогда руководить студентами, что ему предстоит через пару лет защищать кандидатскую диссертацию. К тому времени

* Гинзбург В. Л. Нелинейные явления в плазме, находящейся в переменном электромагнитном поле / В. Л. Гинзбург, А. В. Гуревич // УФН. — 1960. — Т. 70, № 2. — С. 201, № 3. — С. 393.

В. Я. Блудов закончил аспирантуру, но диссертацию вовремя не защитил. Руководителем у него был В. А. Мисюра.

Так я остался фактически без руководителя.

Через год, осенью 1971 г., на кафедре появился бывший ее выпускник, а теперь аспирант первого года обучения В. Т. Розуменко. Он уже в течение нескольких лет занимался исследованием ионосферы методом некогерентного рассеяния. Его тема никак не соприкасалась с моей (модификация ионосферы мощными радиоволнами), но заведующий кафедрой назначил руководителем моей дипломной работы В. Т. Розуменко. Виктор Тимофеевич — очень отзывчивый и коммуникабельный человек, несмотря на свой небогатый тогда научный опыт, помогал мне, чем мог. За это я ему очень благодарен и по сегодняшний день.

2.1. Импульсная кроссмодуляция

В. А. Мисюра уже собирался поменять мне тематику исследований, но помог случай. В числе соисполнителей по нашей главной научно-исследовательской работе (НИР) «IV-Аврора-УМВО» (где ХГУ имени А. М. Горького был главной в СССР организацией) был московский научно-исследовательский институт радио (НИИР). Руководитель одного из подразделений этого института И. С. Шлюгер как раз в это время завершал подготовку диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.

И. С. Шлюгер был замечательным инженером, отставным генерал-майором войск связи. Еще в начале 1960-х гг. он организовал строительство возле г. Москва радиотехнической системы на гирочастоте электронов (1,35 МГц) с невиданной и на сегодняшний день эффективной импульсной мощностью в 1 ГВт (мощность передающего устройства 10 МВт). Совершенно секретная система предназначалась для «подавления вражеских голосов». Уже в 1960-е гг. он провел уникальные (конечно, совершенно секретные) эксперименты по модификации ионосферы мощным радиоизлучением гектометрового диапазона радиоволн.

Во время моей командировки (В. А. Мисюра предусмотрительно зачислил меня на полставки сначала инженера, а затем с 1 апреля 1972 г. — на полставки младшего научного сотрудника) в НИИР в ноябре 1971 г. он предложил мне теоретически описать наблюдаемые им эффекты. Я согласился. Организационно это решалось просто: работы выполнялись в рамках упомянутой выше НИР, руководителем которой от Харьковского университета был В. А. Мисюра, а от НИИР — И. С. Шлюгер.

Как потом мне стало известно, примерно в это же время И. С. Шлюгер стал сотрудничать с хорошим московским теоретиком, кандидатом физико-математических наук (затем доктором физико-математических наук) В. В. Васьковым, а несколько позже с блестящим ученым, ныне академиком Российской академии наук (РАН), А. В. Гуревичем. Конечно, я в силу своего возраста и квалификации не мог с ними конкурировать. Я ограничился одним из эффектов — эффектом импульсной кроссмодуляции. Как известно, эффект кроссмодуляции (люксембург-горьковский эффект) заключается в «переносе» модуляции от мощной радиоволны к другим радиоволнам, распространяющимся в одной и той же части ионосферы. С одной стороны, на этом эффекте был основан метод импульсной кроссмодуляции, предложенный еще в 1955 г. Дж. А. Фейером из США для исследования нижней ионосферы. С другой стороны, по указанию заведующего кафедрой в ХГУ имени А. М. Горького старший инженер Л. А. Пивень, талантливый радиоинженер и экспериментатор, должен был разработать радиотехническую систему (РТС) для этого метода. Так что тематика моих исследований полностью соответствовала профилю кафедры.

Создание нашей РТС Л. А. Пивнем (у него были собственные научные интересы — исследование нижней ионосферы методом частичных отражений, а затем и реакция нижней ионосферы на старты ракет) все откладывалось. Поэтому эксперименты по импульсной кроссмодуляции с моим участием, по моим программам проводились в НИИР. Этим я активно занимался в 1972—1973 г. Совместно с И. С. Шлюгером нам удалось опубликовать ряд работ в закрытой и открытой печати. Завершил эти исследования я в основном в 1974 г., подготовив обзор, опубликованный лишь в 1984 г. Результаты исследований в виде одной из глав также вошли в мою кандидатскую диссертацию, которую я представил к защите в 1974 г., а в начале 1975 г. ее досрочно защитил (с 1 ноября 1972 г. я был аспирантом кафедры космической радиофизики).

2.2. Модификация ионосферы мощными радиоимпульсами ВЧ, ОВЧ, УВЧ и СВЧ диапазонов

Результатов исследований, связанных с импульсной кроссмодуляцией, заведомо хватало бы для кандидатской диссертации. Но я хотел подготовить диссертацию с «большим запасом прочности» и существенно расширил круг исследований. Эти исследования в основном были направлены на решение военно-прикладных задач и поэтому их результаты лишь частично вошли в кандидатскую диссертацию.

Перечислим направления этих исследований.

1. Нелинейные эффекты в загоризонтной радиолокации.

Загоризонтная радиолокация принципиально позволяет обнаруживать цели на расстояниях порядка 10 тыс. км, используя для этого отражающиеся от ионосферы радиоволны. Мною изучались возможности модификации ионосферной плазмы на наклонных радиотрассах декаметрового диапазона. Постановка этой задачи принадлежала мне. Я же занялся ее решением сначала в теоретическом плане, а затем и в экспериментальном.

Результаты теоретических исследований я в 1973 г. доложил в Четвертом Главном управлении Министерства обороны СССР (Четвертом ГУ МО СССР), Генеральном штабе Вооруженных Сил СССР (ГШ ВС СССР), в Центральном научно-производственном объединении (ЦНПО) «Вымпел», в Институте дальней радиосвязи (НИИДАР).

С большим трудом удалось убедить и военных, и разработчиков радиолокационной техники, что ионосферные возмущения, создаваемые мощным радиоизлучением декаметрового диапазона, существенно влияют на качественные показатели, да и саму работоспособность загоризонтных радиолокационных станций (ЗГ РЛС). Дело в том, что ЗГ РЛС использовали радиопередающие устройства с импульсной мощностью до 1 МВт и огромные антенные решетки с коэффициентом усиления порядка 1000. При этом возникали значительные возмущения параметров ионосферной плазмы и характеристик радиолокационного сигнала.

Экспериментальные исследования начались с моих командировок в г. Чернобыль (где размещалась боевая ЗГ РЛС) и в г. Николаев (там дислоцировалась экспериментальная ЗГ РЛС). В Николаевском филиале (НФ) НИИДАР и были выполнены основные экспериментальные исследования. Там я и познакомился с тогдашним директором НФ НИИДАР доктором технических наук Ю. К. Калининным.

В НФ НИИДАР работали хорошие инженеры, математики-программисты. Но все они (как и главный конструктор ЗГ РЛС Ф. А. Кузьминский и директор НИИДАР В. И. Марков) недостаточно знали особенности ионосферы (и в первую очередь, полярной, через которую лоцировали США). Я уже тогда был уверен, что низкая эффективность ЗГ РЛС связана с недостаточным учетом свойств ионосферы и нелинейных эффектов, которые вызываются радиолокационными сигналами. К сожалению, к моему мнению мало прислушивались, у меня не было достаточного научного авторитета.

Во второй половине 1970-х гг. мы пытались выработать рекомендации по существенному повышению эффективности ЗГ РЛС. Для этой цели с 1973 г. мною читался спецкурс по нелинейным эффектам в ионосферной плазме, где, в частности, обсуждались эффекты при функционировании ЗГ РЛС. С целью поднять уровень «ионосферного» образования мы направили работать в НФ НИИДАР ряд наших выпускников, моих дипломников. К сожалению, им не удалось существенно изменить отношение руководства и сотрудников филиала к ионосфере и распространению мощных радиолокационных сигналов в ионосфере.

2. Нелинейные эффекты в РЛС дальнего обнаружения (РЛС ДО). Задача изучения модификации ионосферы мощными радиоимпульсами РЛС ДО была поставлена и решена мною. До этого считалось, что РЛС ДО, работающие в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазонах радиоволн, из-за относительно высокой несущей частоты слабо взаимодействуют с ионосферной плазмой, так как коэффициент поглощения радиоволны обратно пропорционален квадрату частоты. В то же время РЛС ДО, РЛС предупреждения о ракетном нападении, РЛС обнаружения, сопровождения и наведения ракет имели огромные антенные системы и мощные радиопередающие системы. Поскольку коэффициент усиления антенны увеличивается прямо пропорционально квадрату частоты радиоволны, при прочих равных условиях эффективность воздействия мощного радиоизлучения на ионосферную плазму практически не зависела от частоты. Следует добавить, что импульсная мощность радиопередающего устройства достигала 100 МВт, а при работе с фазированными антенными решетками (ФАР) число радиопередающих устройств достигало 1000 при мощности каждого из них в 100 кВт. Размер антенн достигал сотен метров, а их коэффициент усиления составлял 40–70 дБ. Возмущения параметров ионосферной плазмы при этом были значительными.

Экспериментальные исследования с нашим участием и по нашим наброскам проводились на полигонах ракетно-космической обороны (РКО) в Казахстане.

«Мирным» приложением этого круга вопросов было изучение влияния «самогрева» в методах некогерентного рассеяния, частичных отражений и т. п., выполненных автором в 1973–1974 гг. Эти результаты частично вошли в мою кандидатскую диссертацию, а затем под моим руководством исследования были продолжены аспирантом С. И. Мартыненко. «Самогрев» приводит к возмущению параметров ионосферы мощным радиоизлучением и является нежелательным для упомянутых методов, основанных на других физических явлениях.

2.3. Диагностика ионосферной плазмы при помощи мощного радиоизлучения

Пока в 1971—1975 гг. я усиленно занимался выполнением НИР, заданных, как тогда говорили, директивными органами (ЦК КПСС и Совмином СССР либо Совмином СССР), и убеждал заказчиков в лице высокопоставленных военных и разработчиков РТС специального назначения в необходимости учета модификации ионосферной плазмы мощным радиоизлучением ОНЧ, СЧ, ВЧ, ОВЧ, УВЧ и СВЧ диапазонов и влияния создаваемых в ионосфере возмущений на функционирование упомянутых РТС, в США (Боулдер, начиная с 1970 г., а затем и Аресибо с 1971 г.) и в СССР (г. Горький, НИРФИ, с 1973 г.) были проведены фундаментальные исследования по модификации ионосферы ВЧ радиоволнами (в основном в F-области ионосферы, вблизи области отражения вертикально падающей радиоволны, где возникал резонанс на верхней гибридной частоте). Кроме ряда неустойчивостей, ракурсного рассеяния радиоволн, были обнаружены и изучены детектирующее свойство ионосферы (эффект Г. Г. Гетманцева) и резонансное рассеяние радиоволн искусственными периодическими неоднородностями (В. В. Беликович, Е. А. Бенедиктов, Г. Г. Гетманцев и др.). Значительное внимание уделялось исследованию искусственных ионосферных неоднородностей (Г. Г. Гетманцев, Л. М. Ерухимов, Н. А. Митяков, В. Л. Фролов, В. П. Урядов и др.). Основные «сливки» были собраны. Мне необходимо было найти (точнее, «узаконить») свое участие в этой тематике, найти свою «нишу». О наших исследованиях как теоретических, так и экспериментальных широкая научная общественность не знала ввиду их секретности. Эксперименты, как уже отмечалось, проводились, как правило, на боевых или проходящих испытания радиотехнических системах (РТС), принадлежащих Министерству обороны СССР.

«Мирная ниша» для моих исследований была найдена. Это — диагностика ионосферной плазмы при помощи мощного радиоизлучения. Методы диагностики «невозмущенной» ионосферы у нас уже были. Это метод частичных отражений, вертикального зондирования, некогерентного рассеяния и др. Особые надежды мы возлагали на метод частичных отражений. РТС этого метода входила в состав передвижного радиотехнического ионосферного комплекса (ПРИК). ПРИК был разработан по инициативе и под руководством Л. А. Пивня. В создании ПРИК принимали участие В. Г. Сомов, В. Л. Дорохов, А. С. Шемет и др. Кроме технического обеспечения исследований, мною была разработана

нестационарная теория взаимодействия мощного радиоизлучения с ионосферной плазмой.

В 1975 г. ПРИК своим ходом прибыл на подмосковный полигон НИИР. Была проведена серия экспериментов по диагностике ионосферы, модифицированной мощным СЧ радиоизлучением. Были впервые получены возмущенные и невозмущенные профили концентрации электронов и частоты соударений, а из них ряд аэрономических параметров. Модификация нижней ионосферы осуществлялась в непрерывном и импульсном режимах. Были экспериментально проверены основные результаты разработанной мною нестационарной теории взаимодействия мощного радиоизлучения с ионосферной плазмой.

В 1977 г. на полигоне Полярного геофизического института (ПГИ) Кольского филиала АН СССР, вблизи г. Мончегорск, начал функционировать первый в мире высокоширотный нагревный стенд. Нагревными стендами в 1970-е гг. стали называть мощные РТС, предназначенные для воздействия на околоземную плазму мощным радиоизлучением, для ее модификации. Уже в феврале — марте 1978 г. туда был доставлен ПРИК и проведена серия экспериментов, направленная на изучение модификации полярной ионосферы мощным ВЧ радиоизлучением. Была впервые получена обширная информация о возмущении и релаксации неоднородной структуры, концентрации и температуры электронов в нижней высокоширотной ионосфере, сведения о коэффициентах прилипания и рекомбинации электронов, температурной зависимости этих коэффициентов и др.

В измерениях на полигонах НИИР и ПГИ участие приняли В. Л. Дорохов, Л. А. Пивень, В. Г. Сомов, А. С. Шемет, а также С. И. Мартыненко. Сергей Игоревич вместе со мной также занимался обработкой и истолкованием данных экспериментов.

В 1972—1977 гг. мною были предложены и реализованы новые методы диагностики ионосферной плазмы — метод кроссмодуляции 1 рода, метод периодической кроссмодуляции, метод самомодуляции и др. Мною существенно был развит предложенный в НИРФИ метод резонансного рассеяния.

2.4. Новый механизм модификации ионосферы

Уже в первых экспериментах на РТС НИИР в сентябре 1972 г., изучая эффекты импульсной кроссмодуляции и самомодуляции импульсов, я заметил, что нагревные эффекты ведут себя по-разному в «начале» и в «конце» серии экспериментов. Создавалось впечатление, что через несколько минут и даже десятков минут после первого включения мощ-

ного радиоизлучения состояние ионосферы изменялось. Обработка экспериментальных данных показала, что на высотах 70–100 км концентрация электронов могла увеличиваться на десятки – сотни процентов при нагреве ионосферы короткими (около 500 мкс) радиоимпульсами. Я показал эти экспериментальные результаты А. В. Гуревичу. Он предположил, что возникает пробой атмосферы за счет быстрых электронов в «хвосте» распределения электронов по скоростям. Я же предположил, что имело место стимулированное мощным радиоизлучением высыпание электронов из околосредней магнитной ловушки (магнитосферы). Тогда, в начале 1970-х гг., А. В. Гуревич с моим предположением не согласился: – Не выдумывайте, Леня. – Таков был его ответ.

Я же не отказался от мысли подтвердить существование нового механизма нелинейности в ионосферной плазме. Я назвал его триггерным механизмом. До этого А. В. Гуревич описал нагревный, стрикционный, магнитный и ионизационный механизмы.

Дальнейшее подтверждение проявлений нового механизма, а точнее возможности возникновения неизвестного ранее явления, я получил в 1975 г. в экспериментах с РТС НИИР. Нами, как уже упоминалось, при помощи метода частичных отражений производилась диагностика создаваемых возмущений. Главными подтверждениями моей гипотезы было то, что концентрация электронов действительно увеличивалась в нижней ионосфере. Время начала эффекта изменялось в широких пределах и в среднем составляло 5–10 мин. Важно, что этот эффект мог заканчиваться как до, так и после выключения мощной РТС (я назвал его эффектом «исчерпания»).

Следующее подтверждение триггерного механизма было получено во время наших экспериментов на полигоне ПГИ зимой – весной 1978 г. Эффекты в высоких широтах были примерно такими же, как и в средних.

2.5. Крупномасштабные возмущения в геокосмосе – новое явление

Если триггерный эффект действительно связан с высыпанием частиц из магнитосферы, или по-другому, с взаимодействием различных оболочек геокосмоса, он должен наблюдаться и далеко за пределами диаграммы направленности антенны нагревного стенда. Для проверки этой гипотезы требовались новые эксперименты.

Такие эксперименты были мною организованы в разные годы, начиная с 1977 г. Для возмущения ионосферы использовались нагревные стенды НИИР как СЧ, так и ВЧ диапазонов. Их эффективные мощности составляли 10 и 80 МВт в непрерывных режимах соответственно.

Кроме того, первая установка работала также в импульсном режиме с эффективной мощностью в 1 ГВт. Диагностика на вертикальных и наклонных радиотрассах осуществлялась вблизи г. Харьков.

Эксперименты в целом подтвердили, что на расстоянии около 700 км от вертикального излучающего нагревного стенда в ионосфере над Харьковом возникали возмущения, которые я назвал крупномасштабными (их масштаб порядка 1000 км). Величина возмущений и их появление существенно зависели от состояния космической погоды.

В 1977–1983 гг. была также проведена серия экспериментов с нагревным стендом «Ястреб», размещенном на полигоне НИРФИ, вблизи г. Горький (Н. Новгород). Из-за незначительной эффективной мощности стенда (5–23 МВт) надежно подтвердить новое явление нам не удалось.

Совсем другие возможности в исследовании нового явления открылись после введения в строй нагревных комплексов возле г. Тромсё (Норвегия) в 1980 г. и возле с. Васильсурск (СССР) в 1981 г. Их удаление от Харькова составляло около 2200 и 950 км соответственно.

Экспериментов со стендом (эффективная мощность – 360 МВт) возле г. Тромсё было проведено немного. В те годы трудно было получить сведения о режимах излучения зарубежного стенда. Зато эксперименты со стендом «Сура» (с. Васильсурск, вблизи г. Горький) были достаточно регулярными. Режимы нагрева изменялись в широких пределах. Эффективная мощность составляла 150–320 МВт.

Подобные эксперименты продолжались до 1991 г., вплоть до развала СССР.

В начале 1980-х гг., кроме меня и группы экспериментаторов, участие в исследованиях принимал С. И. Мартыненко, затем он отошел от этих работ. Большую помощь оказали такие опытные экспериментаторы, как К. П. Гармаш, А. А. Губарев, Л. С. Костров, С. Г. Леус и С. Н. Похилько. В обработке и истолковании эффектов принимали участие В. К. Галайдыч и О. В. Пахомова. Особенно значительной была роль К. П. Гармаша.

В 2000-х гг. эксперименты были возобновлены.

2.6. Прикладные исследования

О прикладных исследованиях уже говорилось в подразделе 2.2. Упомянем еще о трех приложениях.

Искусственное плазменное образование в атмосфере. По моей инициативе, которую поддержало Четвертое ГУ МО СССР, мне с 1974 г. пришлось заниматься исследованием возможности создания вы-

сокоиницированной области в атмосфере (ионосфере) за счет пробоя газа мощными радиоимпульсами. Мне было известно, что в одном из научно-исследовательских институтов Харькова были разработаны генераторы гигагерцового диапазона гигаватных импульсов наносекундной длительности. Появилась реальная возможность пробоя атмосферного газа на больших высотах (чем больше высота, тем меньше поле пробоя). (Как известно, пробоем газа называется его лавинообразная ионизация.) Обязательным условием была необходимость быстрого перемещения высокоиницированной области по высоте и по горизонтали. Расчеты показали, что последнее реализовать не удастся, если использовать «тонкий» радиолуч со сканированием. Пробой возникал вовсе не там, где нужно, а там, где для этого выполняются соответствующие условия. Ситуация казалась безвыходной. Помог случай. Как-то весной 1975 г., прогуливаясь вечером по аллее парка, я заметил, что тени от деревьев, создаваемые разными фонарями, пересекаются. Решение пришло сразу же — пробой можно создавать в области пересечения двух или нескольких диаграмм направленностей антенн. Провел детальные расчеты. Теперь иницицированную область можно было перемещать в пространстве при помощи электронного сканирования диаграммами направленности антенн. Оставалось решить последнюю проблему — создать в области пробоя необходимую напряженность поля. Увеличивать размер антенн дальше было некуда, он и так достиг 100—200 м, да и сужать диаграмму направленности дальше нельзя было, из-за ограничения снизу на размер плазменного образования. Так пришла идея о модульной конструкции системы. Мощность (точнее, напряженность электрического поля, создаваемая большим количеством относительно маломощных радиопередаточных устройств) при этом складывалась в области пробоя. Кроме того, модули могли иметь сравнительно небольшие габариты, а значит, их можно было сделать мобильными.

За успешное решение этой проблемы Заказчик (Министерство обороны СССР) обещал нам Государственную (и даже Ленинскую) премию, но после успешной приемки НИР он об этом почему-то забыл. Впрочем, представители Заказчика Госпремию СССР все-таки получили. Основные результаты этих исследований в соавторстве с представителями Заказчика были опубликованы в специальных (секретных) изданиях.

Наступательное электромагнитное оружие. После получения блестящего отзыва на мою кандидатскую диссертацию от ведущей организации (ею был научно-исследовательский институт МО СССР, занимающийся ракетно-космической обороной) начальник института

«в качестве платы» за отзыв попросил изучить проблему использования перспективных радаров дециметрового — сантиметрового — миллиметрового диапазонов в качестве наступательного электромагнитного оружия. В течение следующей пятилетки (1976—1980 гг.) эта проблема была детально проанализирована и разработаны практические рекомендации. За это я получил премию в 1000 руб. Результаты работы (в соавторстве с генералами из МО СССР) были опубликованы в секретных изданиях.

Распространение мощных радиосигналов различных диапазонов через область высотного (космического) взрыва. Заказчиками по этой проблеме были Минрадиопром и Четвертое ГУ МО СССР. Решением этой проблемы я занимался в начале 1980-х гг. Основная трудность была в том, что эффекты взрыва и воздействия мощного радиоизлучения возникали одновременно.

Вместе с представителями заказчиков были опубликованы статьи в закрытых изданиях.

Всего в 1970—1990 гг. в секретных московских журналах нами было опубликовано свыше сотни научных статей, посвященных стратегии использования тех или иных физических явлений и процессов в интересах обороны страны.

3. Крупномасштабные и глобальные возмущения в ионосфере при стартах космических аппаратов

Еще в конце 1950-х гг. специалисты из США обнаружили, что вдоль траектории ракеты возникают возмущения параметров среды, вызванные движением летательного аппарата. Изучались также и инфразвуковые колебания, генерируемые двигателями ракеты. В целом эти эффекты были предсказуемыми.

3.1. Первые наблюдения

В начале 1970 гг. в Харькове, в Харьковском политехническом институте имени В. И. Ленина, состоялся межведомственный семинар по теории и практике некогерентного рассеяния, организованный доцентом В. И. Тараном. На семинаре я познакомился со специалистом-ракетчиком, сотрудником Центрального конструкторского бюро машиностроения (г. Подлипки, теперь г. Королев) В. И. Гаркушей. Его ведомство собиралось проводить активный эксперимент в космосе. В ходе этого эксперимента планировалось ракетой вывести в космос ускоритель электронов, а затем произвести инъекцию электронного пучка в ионосферу. Основная цель эксперимента — изучение реакции среды на инъекцию пучка. Подобные эксперименты уже проводились в США и в СССР.

Поэтому физические процессы, сопутствующие инжекции пучка, в основном, были понятны и предсказуемы. Я предложил поискать реакцию (отклик) среды в «дальней зоне», т. е. на расстоянии около 700 км от ракетодома (запуск ракеты планировалось осуществить с первого советского ракетодома Капустин Яр). Диагностика должна была осуществляться в Радиофизической обсерватории (РФО) ХГУ имени А. М. Горького, т. е. вблизи с. Гайдары (50 км от Харькова).

В установленный день старт ракеты состоялся. Л. А. Пивень при помощи РТС частичных отражений обнаружил аномальные сигналы с высот 50–60 км. Вот она — реакция околосредней среды на инжекцию пучка электронов! Мы с нетерпением ждали встречи с В. И. Гаркушей, чтобы «похвастаться» своими результатами. При встрече он сообщил, что ... ускоритель в космосе запустить не удалось. Но что же тогда мы наблюдали?

В. Т. Розуменко выдвинул гипотезу, что это была реакция среды на полет ракеты с работающим двигателем в ионосфере. Вскоре он же выдвинул и вторую гипотезу, направленную на объяснение причины реакции среды на удаленный на 700 км старт ракеты. В. Т. Розуменко предположил, что при полете ракеты возникает стимулированное выпадение электронов из радиационного пояса Земли. С этого эксперимента начались планомерные и многолетние исследования реакции околосредней среды на старты и полеты космических аппаратов. Необходимо отметить, что попытки зарегистрировать возмущения в среде, вызываемые ракетными двигателями, в то же время предпринимались и другими группами исследователей в СССР. Все они ограничивались наблюдениями в «ближней зоне», т. е. либо вблизи места старта ракеты, либо вдоль траектории ее полета.

3.2. Комплексные радиофизические и магнитометрические исследования эффектов стартов ракет

После первых же наших докладов на научных конференциях, в ЦНПО «Вымпел», в НИИДАР, в Четвертом ГУ МО СССР и в Генштабе ВС СССР военные и специалисты из Минрадиопрома стали проявлять значительный интерес к нашим исследованиям. Появились крупные заказы, НИР, заданные директивными органами. Научным руководителем этих НИР, представляющих собой проекты всесоюзного значения, был назначен профессор В. А. Мисюра, а я — его заместителем. Заказчиками были Главные управления войск противовоздушной обороны (ПВО) страны и ракетных войск стратегического назначения (РВСН). На наш коллектив была возложена громадная ответственность.

Со второй половины 1970-х гг. исследования эффектов стартов ракет постепенно становятся комплексными. Сначала наблюдения проводились группой Л. А. Пивня, куда входили А. И. Гритчин, В. Л. Дорохов, В. Г. Сомов и А. С. Шемет. Они выполняли измерения методом частичных отражений и методом вертикального зондирования (обработку данных производила О. В. Пахомова). Затем начались измерения методом некогерентного рассеяния (Э. Г. Мизер и др.). Обработку и истолкование данных экспериментов выполняли Н. Н. Машталер и В. Т. Розуменко.

Вскоре к ним присоединилась группа Л. С. Кострова (С. Г. Чулаков и др.), которые проводили наблюдения при помощи доплеровского ВЧ радара.

В 1980-х гг. эффекты стартов ракет исследовались группой Ю. П. Федоренко. Для этого они использовали сигналы ИСЗ.

Примерно в это же время по моей инициативе были развернуты многочастотные многотрассовые наблюдения эффектов стартов ракет. В качестве источников радиосигналов использовались мировая сеть вещательных радиостанций, радиостанций сигналов точного времени и т. п. Эти исследования позволили проследить за развитием эффектов во времени и в пространстве (по горизонтали и по вертикали). Приемно-обрабатывающую аппаратуру создали К. П. Гармаш, А. А. Губарев, С. Г. Леус и С. Н. Похилько. Благодаря их же усилиям на территории Астрономической обсерватории ХГУ имени А. М. Горького (вблизи с. Граково) был оборудован пункт наблюдений за вариациями радиосигналов в широком диапазоне частот (3 кГц — 30 МГц), а также за вариациями геомагнитного поля (0,001—1 Гц).

Во второй половине 1980 гг. по инициативе Л. А. Пивня были созданы приемно-регистрационные системы для исследования шумового космического радиоизлучения в диапазонах частот около 150 МГц и 2 ГГц. Для приема радиоизлучения на частоте 2 ГГц использовалась пятнадцатиметровая полноповоротная антенна многоцелевого радиотехнического комплекса, размещенного в Радиофизической обсерватории.

После распада Советского Союза исследования эффектов стартов ракет были рассекречены. В 1990—2000-х гг. они были продолжены, хотя уже и со значительно меньшей интенсивностью.

В результате многолетних комплексных исследований было установлено, что старты и полеты космических аппаратов сопровождаются возникновением целого ряда физико-химических процессов. Ракета оказывает на среду динамическое, тепловое, химическое, акустическое и электромагнитное воздействие. Важным этапом исследований было

обнаружение пульсаций геомагнитного поля, следовавших за стартами ракет с различных космодромов мира. Кроме меня, участие в этих исследованиях приняли К. П. Гармаш, С. Г. Леус (они обеспечили бесперебойную работу магнитометрического комплекса) и М. А. Шамота (она выполнила обработку данных). М. А. Шамота завершила подготовку кандидатской диссертации, посвященную этим вопросам (руководитель — Л. Ф. Черногор).

Плодотворным было мое сотрудничество с Институтом ионосферы НАН и МОН Украины (директор профессор В. И. Таран, с 2009 г. профессор И. Ф. Домнин). Были проведены совместные наблюдения эффектов стартов ракет методом некогерентного рассеяния. Обработку результатов измерений проводил мой аспирант В. П. Бурмака. По этой тематике он подготовил кандидатскую диссертацию. Наши сорокалетние исследования были наиболее масштабными из всех известных. Нами опубликовано более сотни научных трудов, в том числе и монография. В 1989 г. за эти исследования наш коллектив (Л. С. Костров, Э. Г. Мизер, В. А. Мисюра, Л. А. Пивень, В. А. Поднос, В. Т. Розуменко, А. М. Цымбал и Л. Ф. Черногор) секретным постановлением был удостоен Государственной премии УССР в области науки и техники.

Еще раньше, в 1983 г., В. А. Мисюра, В. А. Поднос, Л. А. Пивень, В. Т. Розуменко и я стали лауреатами премии Минвуза СССР за лучшую НИР по оборонной тематике.

4. Ионосферные эффекты мощных взрывов и землетрясений

4.1. Эффекты подземных взрывов

Целенаправленным исследованием эффектов мощных взрывов и землетрясений мы не планировали заниматься. Главными для нас были эффекты стартов ракет: за них хорошо «платили» и очень серьезно «спрашивали». При проведении многочасовых измерений, кроме искомым сигналам от стартов ракет, мы наблюдали и другие сигналы. Для нас они были помехами. Нужно было выяснить их природу и научиться «отсеивать». Так, уже в 1970-х гг. мы установили, что мощные землетрясения также вызывают крупномасштабные и даже глобальные возмущения в околоземной и космической среде.

В 1970–1980-х гг. в США и СССР систематически производились подземные ядерные взрывы (ПЯВ) с энерговыделением от единиц до 1–2 сотен килотонн. Реакция околоземной среды была отчасти похожа на реакцию среды на землетрясения, но были и существенные

отличия. Особенности ПЯВ также предстояло изучить и на этой основе разработать метод селекции ПЯВ по их ионосферным проявлениям.

Мы стали активно сотрудничать с Двенадцатым ГУ МО СССР. В 1987 г. В. А. Мисюра, я и несколько представителей этого управления были удостоены премии Совета Министров СССР за успешное решение проблемы идентификации ядерных взрывов в различных средах.

4.2. Проект «МАССА»

На рубеже 1970–1980-х гг. в СССР готовился проект «МАССА» (магнитосферно-атмосферные связи при сейсмо-акустических явлениях). На одной из традиционных конференций по нелинейным эффектам в ионосфере, проводившихся НИРФИ в г. Горьком, после моего доклада ко мне подошел заместитель директора Института физики Земли АН СССР (г. Москва) М. Б. Гохберг и предложил нам принять участие в проекте «МАССА». Михаил Борисович сказал:

— Мне понравились обнаруженные Вами крупномасштабные и глобальные эффекты. Может быть, Вы найдете что-то подобное во время крупного научно-исследовательского наземного взрыва? — И сам добавил. — Хотя надежд мало. Скорее всего, все эффекты будут над эпицентром взрыва и, может быть, в магнитной трубке.

Я ответил, что я настроен более оптимистически. Михаил Борисович не знал, что мы уже наблюдали реакцию околоземной среды на сотни стартов ракет, сотни землетрясений и десятки ПЯВ.

Как я и ожидал, взрыв 28 ноября 1981 г. примерно 260 тонн тринитротолуола вызвал эффекты в атмосфере и ионосфере на расстоянии около 2000 км от места взрыва (вблизи г. Алма-Ата). Всего по проекту «МАССА» было произведено 8 взрывов. К сожалению, в других экспериментах мы не участвовали. Запретил В. А. Мисюра, он сказал:

— Пусть Ваш Гохберг сначала нам заплатит, а потом мы будем измерять.

Почти то же самое В. А. Мисюра мне сказал в середине 1970-х гг. в ответ на предложение В. И. Гаркуши поучаствовать в эксперименте с космическим ускорителем электронов. Как уже отмечалось, именно этот эксперимент подвел нас к многолетним исследованиям эффектов стартов ракет (и не только нас, а с нашей подачи и Военную инженерную радиотехническую академию имени Л. А. Говорова, Харьковский политехнический институт имени В. И. Ленина и другие организации бывшего Советского Союза). В дни, когда готовился совместный эксперимент с В. И. Гаркушей, В. А. Мисюра болел, и я, как его заместитель, на свой страх и риск распорядился включить наши радиотехнические средства и

системы, что привело к обнаружению интересного, неизвестного ранее явления возникновения дополнительной ионизации у основания ионосферы, вызванного действием стартующей ракеты. Если бы в те далекие времена я не послушался своего начальника, у нас не было бы столь интересного и перспективного научного направления исследований, связанного с изучением физических процессов, сопутствующих стартам и полетам космических аппаратов.

4.3. Эффекты подрывов ракет

В декабре 1987 г. Генеральный Секретарь ЦК КПСС М. С. Горбачев и Президент США Р. Рейган подписали Договор между СССР и США о ликвидации ракет средней и меньшей дальности. В течение 1987–1991 гг. в СССР было уничтожено методом подрыва около 2000 ракет. Это было по-настоящему варварское деяние, поскольку один грамм массы ракеты стоил дороже одного грамма золота. Оставляя в стороне политические, экономические и экологические аспекты, остановимся на геофизическом аспекте.

Взрывы проводились на полигонах Капустин Яр и Сарыозек. Ракеты взрывали ежедневно (кроме выходных) поодиночке и связками (2–5 штук). Взрываема масса при каждом подрыве составляла 10–100 тонн.

Такие взрывы рассматривались мною как активные эксперименты сродни проекту «МАССА». Я со своими учениками принял участие в наблюдении магнито-ионосферных эффектов взрывов, а также их влияния на характеристики радиосигналов. Измерения производились при помощи комплекса многочастотного многотрассового зондирования и магнитометра-флюксметра, размещенных в обсерватории ХГУ имени А. М. Горького (вблизи с. Граково).

В. А. Мисюра и на этот раз мою инициативу не поддержал («А кто будет платить деньги? — Никто. — Тогда и мерять ничего не будем»).

Измерения все же (без ведома В. А. Мисюры) были успешно проведены, за что я благодарен К. П. Гармашу, А. А. Губареву, С. Г. Леусу и С. Н. Похилько.

4.4. Эффекты землетрясений. Предвестники землетрясений

Впервые крупномасштабные возмущения в ионосфере после сильнейшего землетрясения (магнитуда — 8,5) на Аляске 28 марта 1964 г. зарегистрировали американцы. Они же и описали механизм воздействия землетрясения и взрыва вулкана на атмосферу и ионосферу. Причиной переноса возмущений служили достаточно длинные волны плотности — акустико-гравитационные волны, скорость которых не превышает ско-

рость звука в атмосфере, и волны плотности в земной коре — волны Рэлея.

Всплеск интереса к ионосферным эффектам землетрясений в СССР резко вырос после трагического Спитакского землетрясения в Северной Армении, которое произошло 7 декабря 1988 г. Конечно, геофизиков интересовали не столько ионосферные эффекты уже свершившихся землетрясений, сколько ионосферные предвестники готовящихся землетрясений.

Как я уже писал выше, у нас был накоплен большой опыт идентификации эффектов землетрясений, затруднявших поиск ионосферных проявлений стартов ракет и снижавших показатели правильного обнаружения систем предупреждения о ракетном нападении. С изложением наших достижений я выступил на научных семинарах в Институте физики Земли (ИФЗ) АН СССР и Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИР) АН СССР. Слушателям понравились наши результаты, они хвалили наши достижения, отмечали наш приоритет.

Совет Министров СССР выделил большие деньги на поиск предвестников землетрясений, но они достались не нам, а ИФЗ, ИЗМИРАН и другим московским организациям. Кстати, в независимой Украине ситуация с ионосферными предвестниками повторилась. В Киеве, на межведомственном семинаре, я доложил о наших достижениях (в это время активно готовился проект НКАУ «Попередження») и возможностях в плане поиска ионосферных предвестников землетрясений, но финансирование получили киевские организации, которые не имели ни экспериментальной базы, ни опыта подобных исследований.

5. Исследования сверхширокополосных процессов и сигналов

5.1. Сверхширокополосные процессы

Большинство процессов, генерируемых в тектоносфере (сейсмоактивной части Земли), под водой Мирового океана, в атмосфере и геокосмосе, относятся к сверхширокополосным. Ширина спектра таких сигналов сопоставима (одного порядка) со значением несущей (точнее, средней) частоты. Причиной генерации сверхширокополосных (СШП) процессов служит относительно невысокая добротность (обычно 2–5) природных колебательных систем.

СШП процессы генерируются при землетрясениях, взрывах вулканов, молниевых разрядах, падениях крупных космических тел, а также

при техногенных катастрофах, стартах ракет, посадках космических аппаратов, взрывах и т. д.

Такие процессы по моей инициативе начали исследоваться с начала 1970-х гг. Особенно активно стали вестись исследования после появления в моей группе О. В. Лазоренко, а затем и С. В. Лазоренко.

5.2. Сверхширокополосные сигналы

Применение СШП сигналов для решения задач телекоммуникации и радиолокации были предложены Х. Ф. Хармутом (США) на рубеже 1960—1970-х гг. С тех пор эти сигналы изучались рядом групп как в СССР, так и за рубежом. Интерес к СШП сигналам усилился в 1990—2000-х гг. Были созданы системы связи, радары различного назначения и средства дистанционного зондирования. Применение СШП сигналов в известной степени сдерживалось отсутствием эффективных методов их анализа, значительными дисперсионными искажениями и отсутствием элементной базы и соответствующих СШП устройств и систем. Как известно, традиционная радиотехника и радиоэлектроника ориентировалась на резонансные (узкополосные) элементы и изделия.

В наших работах получили развитие теоретические и экспериментальные исследования СШП процессов и сигналов, а также методы их анализа. Предложены новые классы фрактальных и нелинейных СШП сигналов.

Установлена связь между СШП сигналами и вейвлетами. (Вейвлетами называются локализованные базисные функции, по-другому, цуги волн, маленькие волны, «волночки».)

Предложен и реализован системный спектральный анализ СШП процессов и сигналов на основе ряда линейных и нелинейных интегральных преобразований для случая гауссовских и негауссовских помех. Нами обобщено основное уравнение дистанционного радиозондирования (основное уравнение радиолокации) на случай применения СШП сигналов. Учтена возможность возникновения «электромагнитного снаряда». Как известно, «электромагнитным снарядом» называется мощный радиоимпульс, энергия которого убывает при увеличении расстояния медленнее, чем расстояние в квадрате. Исследована возможность и целесообразность применения СШП сигналов для дистанционного радиозондирования поверхности Земли с борта самолета или ИСЗ, атмосферы, геокосмоса, а также радиолокации планет Солнечной системы, как с Земли, так и с поверхности Луны.

По результатам исследования СШП процессов и сигналов О. В. Лазоренко под моим руководством защитил в 1999 г. канди-

датскую, а в 2010 г. докторскую диссертации (научный консультант — Л. Ф. Черногор). По этим вопросам нами опубликована монография.

6. Телекоммуникационные проблемы. Распространение радиоволн

При использовании существующих и разработке новых радиофизических методов изучения и диагностики параметров геокосмической среды необходимо было решать различные задачи распространения радиоволн в «спокойной» или в «возмущенной» околоземной среде. Возмущения возникали в результате воздействия на атмосферу и геокосмическую среду мощного радиоизлучения, мощных химических и ядерных взрывов, стартов и полетов космических аппаратов, падений крупных космических тел, землетрясений и т. п. Важное место в этих исследованиях занимало искажение параметров канала распространения и характеристик радиоволн.

Заказчиками по таким работам были Министерство промышленности средств связи (МПСС), Министерство радиопромышленности (МРП), и, конечно, Министерство обороны (МО) СССР.

За решение подобных задач в 1985 г. В. А. Мисюра, я и ряд представителей заказчика были удостоены Премии Совета Министров СССР.

Еще в 1980-е гг. по моей инициативе в интересах Четвертого ГУ МО СССР была изучена целесообразность использования геостационарных стратостатов для решения телекоммуникационных проблем, задач дистанционного радиозондирования, мониторинга пусков ракет и воздушно-космического пространства (с целью предупреждения нападения крылатыми ракетами и ракетами среднего радиуса действия, размещенных вблизи границы СССР). Часть результатов подобных исследований опубликована значительно позже (после снятия грифа секретности). По результатам этой НИР представитель нашего Заказчика генерал-полковник Р. в Москве в 1990 г. защитил докторскую диссертацию (научный консультант — Л. Ф. Черногор) и в 1991 г. получил Ленинскую премию. Соавтор работы, профессор В. М. Свищ, предпринимал попытки реализовать этот замечательный проект в Украине. К сожалению, все попытки закончились неудачей — власть предрешающим в нашей стране ничего доказать не возможно.

7. Физическая геоэкология. Эффекты крупномасштабных аварий и катастроф

После распада в декабре 1991 г. СССР военно-прикладные исследования стали невостребованными. Мне необходимо было находить но-

вую нишу в науке. События текущей жизни в мире и в Украине сами под-сказывали актуальные проблемы исследований. Такими событиями стали крупномасштабные региональные неядерные войны, мощные техногенные катастрофы, высокоэнергетические природные явления. Подобные события затрагивают интересы больших масс населения, вызывают у них резонансный отклик. Поэтому требовался оперативный и объективный анализ этих явлений, освещение их в научной литературе и СМИ. Ярким примером такого события было землетрясение в юго-восточной Азии и последовавшее за ним глобальное цунами 26 декабря 2004 г. Я живо откликнулся на эту сильнейшую природную катастрофу.

7.1. Эффекты военных действий

В 1990–2000-х гг. США и их союзники по НАТО осуществили четыре крупные операции: операция «Буря в пустыне» против Ирака в 1991 г., военные действия против Югославии в 1999 г., антитеррористическая кампания в Афганистане в 2001 г. и операция «Шок и трепет» против Ирака в 2003 г. Перечисленные военные действия сопровождалась интенсивными ракетно-бомбовыми ударами. Самой мощной по энерговыделению была операция 2003 г.: суммарная масса использованных взрывчатых веществ за первые две недели войны достигла 11 килотонн (всего расходувано 15 килотонн). Полеты 1800 самолетов и 1100 крылатых ракет привели к инъекции в атмосферу сотен килотонн продуктов сгорания топлива. Военные действия сопровождалась взрывами, городскими пожарами, горением нефтяных скважин и нефтехранилищ. Требовалась оценка параметров основных физико-химических процессов и их экологических последствий.

Знания и опыт расчетов эффектов военных действий у меня был. Еще на рубеже 1970–1980-х гг. во время командировки в Москву, в один из засекреченных научно-исследовательских институтов (так называемых «почтовых ящиков»), руководство «ящика» предложило проанализировать и провести детальные численные расчеты эффектов «всеобщей ядерной войны в результате нанесения встречных ракетно-ядерных ударов». Я сказал, что это не наша тематика, что мы специалисты по космической радиофизике. По приезду в Харьков я доложил о предложении В. А. Мисюре, на что он ответил:

– Сто тысяч в год — это хорошие деньги. От них не следует отказываться. Вот Вы и возьмитесь выполнять работу, покажите, что Вы созрели быть научным руководителем крупных правительственных НИР (до того, да и после того, я был заместителем научного руководителя).

— Я и так сильно занят, — возразил было я. — А кто еще будет работать по этой теме?

— Привлекайте Вашего Мартыненко, своих дипломников. Только не посвящайте их в цели НИР.

Договор был заключен, деньги потрачены, а выполнял НИР фактически я один. Несколько позже я понял, что В. А. Мисюре не столько нужны были деньги, сколько нужно было отвлечь меня от завершения докторской диссертации. И действительно, диссертацию я представил на ученом совете университета только в июне 1984 г., а защитил ее значительно позже. Но это уже другая история.

О том, что я был единственным исполнителем, я сильно не сожалел. Главное, я приобрел неоценимый опыт проведения исследований физических процессов и экологических последствий при массовых ядерных взрывах. Оказалось, что суммарное энерговыделение всех накопленных боеприпасов достигало 15 гигатонн. Тогда же от представителя Заказчика я впервые узнал, что в США было около 11 тысяч стратегических ядерных боеголовок, а в СССР — около 13 тысяч. Кроме стратегических боеголовок, каждая из сторон имела около 50 тысяч тактических боезарядов. Исключительно интересной была информация о том, сколько и каких ракет было нацелено на города, промышленные и военные объекты нашей страны.

Уже в 1981 г. мне стало ясно, что еще более опасными в экологическом отношении, чем массовые взрывы, являются вторичные (пожары) и даже третичные (экранирование солнечного излучения) процессы. Энергетика последних двух почти на два и четыре порядка соответственно превышала энергетику самих взрывов.

Вскоре после выполнения нашей НИР появились многочисленные открытые публикации о прогнозируемых процессах в ходе всеобщей ядерной войны, выполненных в США и в СССР. В нашей стране детальные компьютерные расчеты были выполнены под руководством академика Н. Н. Моисеева. Группа ученых из США предложила термины «ядерная ночь» и «ядерная зима» (в нашей НИР я использовал термин «экранирование солнечного излучения»). Я не додумался применить термины «ночь» и «зима», хотя хорошо знал, что такое «вулканическая» и «астероидная» зима.

Таким образом, к началу военных действий против Ирака в 1991 г. у меня был достаточный опыт для расчета ожидаемых физико-химических эффектов и экологических последствий военных действий. Самым интересным были не взрывы, не полеты авиации и крылатых ракет, а горение примерно 900 нефтехранилищ и скважин. Их подожгли иракцы по при-

казу лидера Ирака С. Хусейна. Через неделю после окончания военных действий расчеты были закончены и описаны. Я долго думал: в какой журнал направить рукопись статьи в двух частях объемом около 70 страниц. Я не нашел подходящего журнала ни в Украине, ни в России, и рукопись осталась неопубликованной.

Такая же незавидная участь постигала и рукописи по результатам исследований физических эффектов и экологических последствий военных действий в Югославии и Афганистане. Такое тогда было время. Нашей стране подобные исследования были не нужны.

Более счастливой оказалась судьба рукописи по физико-химическим эффектам и экологическим последствиям, сопровождавшим военные действия в Ираке в марте — апреле 2003 г. Рукопись в 60 страниц я принес в журнал «Радиофизика и радиоастрономия», хотя понимал, что ее тематика лишь частично соответствует тематике журнала. Главный редактор журнала, академик Л. Н. Литвиненко, порекомендовал направить ее в другой журнал. Леонид Николаевич, ознакомившись со статьей, позвонил академику Я. С. Яцкиву и, тепло отозвавшись о рукописи, попросил ее опубликовать в журнале «Космічна наука і технологія». Ярослав Степанович немедля (за что я ему очень благодарен) распорядился выпустить ее в одном из ближайших номеров. Статья вышла из печати через 2—3 месяца после получения. В ней разработана методология комплексного анализа и расчета физико-химических эффектов, а также экологических последствий современных неядерных региональных войн.

7.2. Эффекты крупных аварий на военных базах

В Украине находится 184 крупные военные базы, где сосредоточено 2,5 мегатонны взрывчатых веществ (эквивалент 200 бомб, сброшенных в 1945 г. на Хиросиму). К большому сожалению, на этих базах происходят аварии. Так, катастрофические последствия имели аварии на военных складах в Артемовске в октябре 2003 г., возле Мелитополя в мае 2004 г. и Лозовой в августе — сентябре 2008 г. Общая масса боеприпасов на этих складах составляла 3,2; 100 и 105 килотонн соответственно. Не успевала закончиться канонада в местах катастроф, как мною был выполнен комплексный анализ физико-химических эффектов и экологических последствий, вызванных массовыми взрывами и пожарами на военных базах. Важнейшими результатами исследований было установление двух фактов. Во-первых, локальные катастрофы, имеющие место на поверхности Земли, затрагивают в той или иной степени верхнюю атмосферу, ионосферу, и электромагнитное поле Земли. Во-вторых, экранирование солнечного излучения, выброшенной в атмосферу пылью

и сажей, приводит к процессам, энергия которых примерно в 10 тыс. раз превышает энергию взрывов и пожаров, т. е. носят триггерный (спусковой, инициирующий) характер.

7.3. Эффекты техногенных катастроф

Техногенные катастрофы, чаще всего, происходят на энергоемких производствах, на нефтегазовых коммуникациях, на нефтегазовых хранилищах и т. п. Такие катастрофы затрагивают интересы больших масс населения, вызывают резонансный отклик у жителей Украины, отдельных государств и даже стран дальнего зарубежья. Требовался научный анализ подобных катастроф. В этом я видел свою задачу.

Примерами крупных техногенных катастроф в Украине являются взрывы на газопроводах Уренгой – Помары – Ужгород (2004 г., 7 мая 2007 г., 6 декабря 2007 г.). Сразу же после этих событий мною проведен системный анализ техногенных катастроф, геофизических эффектов и геоэкологических последствий на магистральных газопроводах и газовых хранилищах. Показано, что и такие катастрофы затрагивают, кроме приземной атмосферы, верхнюю атмосферу, ионосферу и электромагнитное поле Земли.

Еще на одной уникальной катастрофе остановлюсь подробнее. Она произошла в 1971–1973-х гг. вблизи с. Крестище Красноградского района Харьковской обл. на газоконденсатном месторождении. Вырвавшийся из-под поверхности Земли природный газ с давлением более 400 атмосфер горел в течение 21 месяца. Потушить огненный факел высотой около 180 м попытались при помощи подземного ядерного взрыва с тротиловым эквивалентом 3,8 килотонн. Попытка оказалась неудачной. В атмосферу было выброшено радиоактивное облако, которое накрыло значительную часть Украины и Западной Европы. В то время операция с ядерным взрывом была строго засекречена. В 2000-е гг. о ней узнали журналисты, и началась неадекватная «шумиха» в СМИ. Ни в Украине, ни в СНГ не нашлось ученого, который бы объективно проанализировал последствия этой катастрофы. Мне ничего не оставалось, как взяться за анализ этой катастрофы и объективно описать ее в научной литературе и осветить в СМИ. По результатам исследований московским телеканалом «Russia Today» в 2010 г. был снят научно-популярный фильм с моими комментариями. Этот фильм переведен на несколько языков.

Мною был выполнен комплексный анализ физико-химических эффектов и экологических последствий катастрофы, а также оценена целесообразность и корректность тушения огненного факела промышленным подземным ядерным взрывом. Оказалось, что в процессе ката-

строфы сгорело около 130 мегатонн природного газа (энерговыведение было эквивалентно энерговыведению 100 тыс. бомб, сброшенных на Хиросиму). Высота факела достигала 180 м, а высота теплового облака — 5 км. Выбросы дыма, сажи, кислот, угарного и углекислого газа составили около 1 гигатонны, 65 килотонн, 1 килотонны, 130 килотонн и 300 мегатонн, соответственно. Установлено, что энергия вторичных процессов примерно в 100 раз превышала энерговыведение при горении газа. Мощность шумоподобного акустического излучения была порядка 10 мегаватт. Площадь, зараженная радионуклидами, составила около 1000 квадратных километров.

8. Системная парадигма

При изучении крупномасштабных и глобальных процессов, сопровождавших модификацию ионосферной плазмы мощным радиоизлучением, стартов и полетов космических аппаратов, мощных взрывов во всех средах, землетрясений, активных экспериментов в атмосфере и геокосмосе, крупных техногенных катастроф и военных действий с большим энерговыведением мне стало ясно, что воздействие в одной из геосфер так или иначе передается в другие геосферы. Так я пришел к необходимости системного подхода к изучению системы «Земля (внутренние геосферы) — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» (ЗАИМ). Такую систему целесообразно было рассматривать при изучении потоков энергии «снизу» (от землетрясений, вулканов, штормов в океане, цунами, циклонов, взрывов, стартов ракет и т. п.). При изучении влияний потоков энергии «сверху» необходимо было рассматривать систему «Солнце — межпланетная среда — магнитосфера — ионосфера — атмосфера — Земля» (СМСМИАЗ). Если же интересоваться влиянием солнечной активности и вариаций космической погоды на биосферу и человека, следует рассматривать систему СМСМИАЗБ.

Совокупность исходных положений системного подхода (системная парадигма) была мною сформулирована в начале 1980-х гг. и опубликована сначала в закрытой печати, а затем и в открытой.

8.1. Основные положения

Основные положения системной парадигмы сводятся к следующему.

1. Система обладает свойствами иерархии.
2. Между подсистемами имеют место разнообразные связи.
3. Система — открытое образование.
4. Система — динамическое образование.
5. Система — нелинейное образование.

б. Система обладает способностями саморазвития.

8.2. Геокосмические бури. Космическая погода

Термин «геокосмическая буря» введен мною в начале 1990-х гг. для описания совокупности бурь: магнитной, ионосферной, атмосферной и электрической, возникающих при воздействии на Землю и ее внешние оболочки нестационарных потоков солнечного ветра (плазменных, магнитных облаков солнечного происхождения и т. п.). Кстати, термин «геокосмос» и «геокосмосфера» были введены также мною в начале 1980-х гг. для краткого обозначения околоземного космического пространства (последний термин был общепринятым, он нередко используется и в настоящее время).

Комплексные исследования эффектов геокосмических бурь и вариаций космической погоды особенно активизировались после налаживания тесного сотрудничества между кафедрой космической радиофизики, Институтом ионосферы МОН и НАН Украины и зарубежными партнерами. Со стороны кафедры, кроме автора, исследования выполнялись профессором О. Ф. Тырновым, научными сотрудниками И. Г. Захаровым, С. В. Панасенко и др. Со стороны Института ионосферы участие в исследованиях приняли профессор В. И. Таран, В. Н. Лысенко, С. А. Пазюра, а в последнее время и профессор И. Ф. Домнин, С. В. Харитоновна и др. Л. Я. Емельянов и С. А. Пазюра под моим руководством защитили кандидатские диссертации, а В. В. Барабаш, Д. В. Котов и С. В. Харитоновна работают над диссертациями.

Оказалось, что сильнейшая магнитная буря может сопровождаться умеренной ионосферной бурей, а умеренная магнитная буря — сильной ионосферной бурей. Нами предложена классификация таких бурь.

8.3. Волновые процессы

Атмосфера и геокосмическая среда фактически не бывают в спокойном, невозмущенном состоянии. Им присущи динамические процессы, ветры, диффузия, турбулентность и т. п. Особое место занимают волновые возмущения параметров среды. При помощи волн осуществляется взаимодействие подсистем в системах ЗАИМ и СМСМИАЗ. По этой причине я и мои ученики значительное внимание уделяли исследованию волновых процессов в ионосфере и геомагнитном поле. Наиболее важные результаты были получены при участии В. П. Бурмаки, С. В. Панасенко и В. Ф. Пушина. Под моим руководством С. В. Панасенко в 2008 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в В. П. Бурмака подготовил к защите свою диссертацию.

Особое место занимали исследования нелинейных волновых процессов (пилообразных, кноидальных волн, солитоноподобных).

8.4. Высыпание энергетичных частиц из магнитосферы

Роль высыпаний энергетичных частиц из радиационного пояса Земли (магнитосферы) в высоких широтах была известна давно. В высоких широтах магнитные «ловушки» являются открытыми. Иное дело в средних широтах. Считалось, что здесь частицы должны прочно удерживаться магнитным полем Земли. Тем не менее, начиная с 1970-х гг. целый ряд экспериментальных фактов, обнаруженных в ходе активных экспериментов (модификации ионосферы мощным радиоизлучением, стартов ракет, полетов космических аппаратов, мощных взрывов, землетрясений, солнечных затмений и т. п.), было невозможно объяснить без привлечения гипотезы о среднеширотном высыпании энергичных электронов из магнитосферы. Потоки электронов с энергиями порядка 1–100 килоэлектрон-вольт на спутниках не измеряются. Поэтому вся надежда нами возлагалась на косвенные радиофизические методы. Для этого мы применяли метод частичных отражений, доплеровского и вертикального зондирования. Кроме автора, участие в этих исследованиях принимали К. П. Гармаш, Л. А. Пивень (эксперимент по частичным отражениям), В. Т. Розуменко, С. Г. Чулаков (эксперимент по доплеровскому зондированию) и др.

Нам удалось установить, что воздействие на ионосферу мощного радиоизлучения, стартов ракет, мощных взрывов, землетрясений, солнечных затмений и других источников сопровождается увеличением концентрации электронов на высотах 70–200 км на десятки, а иногда и на сотню процентов. Эти эффекты мы объяснили высыпанием энергичных электронов из магнитосферы. Мною были предложены соответствующие механизмы и показано, что высыпание частиц относится к триггерным эффектам.

8.5. Эффекты солнечного терминатора и солнечных затмений

Терминатором именуют область атмосферы и геокосмоса, разделяющую день и ночь. Роль терминатора изучается около 40 лет. Значительный вклад в исследование эффектов терминатора внесли доктор физико-математических наук В. М. Сомсиков, член-корреспондент НАН Украины Ю. М. Ямпольский (выпускник кафедры космической радиофизики) и их соавторы. Несмотря на регулярность воздействия солнечного терминатора, эффекты терминатора отличаются нерегулярностью и не полной повторяемостью. Можно сказать, что они проявляются статистически.

Важно, что движение солнечного терминатора сопровождается генерацией волн различной физической природы и неустойчивостей.

Нами проведены систематические исследования волновых процессов, генерируемых терминатором, в ионосферной плазме и геомагнитном поле. Особое внимание уделялось эффектам магнитосопряженного терминатора. Нам впервые удалось показать, что волновые процессы, ответственные за реакцию магнитного поля на прохождение солнечного терминатора в магнитосопряженной области, имеют магнитоакустическую природу и скорость 5–10 км/с.

К интересным и недостаточно изученным эффектам в системе СМСМИАЗ приводят солнечные затмения. Первые наблюдения эффектов затмения в ряде стран были выполнены еще в 1920-е гг., но заметно они активизировались, начиная с 1970-х гг.

Нами проведены комплексные радиофизические и оптические наблюдения эффектов солнечных затмений в приземной атмосфере, ионосфере и геомагнитном поле. Со стороны ХНУ имени В. Н. Каразина участие, кроме автора, приняли доктор физико-математических наук Л. А. Акимов, профессор О. Ф. Тырнов, научные сотрудники Л. С. Костров, С. В. Панасенко и др. Со стороны Института ионосферы — профессор В. И. Таран, профессор И. Ф. Домнин, научные сотрудники Е. И. Григоренко, Л. Я. Емельянов, М. В. Ляшенко и др. Всего в 1999–2011-х гг. нами наблюдалось шесть частных солнечных затмений. Проведенные исследования позволили изучить новые особенности взаимодействия подсистем в системе СМСМИАЗ, а также их перестройку в ходе солнечного затмения

8.6. Модели геокосмической среды

Изучение реакции атмосферы и геокосмоса на воздействие мощного радиоизлучения, стартов ракет, мощных взрывов, сильных землетрясений и т. п. было бы невозможным без изучения поведения среды в «спокойных» условиях, без моделирования и прогнозирования ее состояния. Такие исследования велись на кафедре космической радиофизики со дня ее основания. В них принимало участие большое количество специалистов (профессор В. А. Мисюра, профессор О. Ф. Тырнов, научные сотрудники И. Г. Захаров, А. М. Цымбал и многие другие).

Значительный прогресс в исследованиях был достигнут в результате сотрудничества кафедры с Институтом ионосферы МОН и НАН Украины и зарубежными партнерами. Существенный вклад в исследования со стороны института внесли профессор В. И. Таран, научные сотрудники Е. И. Григоренко, Д. А. Дзюбанов, Л. Я. Емельянов,

М. В. Ляшенко и многие другие. М. В. Ляшенко, создав региональную модель ионосферы (CERIM), в 2008 г. защитил кандидатскую диссертацию (научный руководитель — Л. Ф. Черногор).

В 2000-х гг. нами прилагались определенные усилия, направленные на создание сезонно-суточных моделей процессов, вызванных движением солнечного терминатора, солнечными затмениями, геокосмическими бурями и т. п.

9. Нелинейная парадигма

Впервые с нелинейностью в радиофизике я столкнулся в 1970 г., когда стал изучать знаменитую статью В. Л. Гинзбурга и А. В. Гуревича в журнале УФН*. Нелинейность физических процессов, возникающих при распространении мощных радиоволн в плазме (ионосфере), мне сразу понравилась. Мне показалось, что нелинейности принадлежит будущее. Уверенности в правильности моих представлений добавило мое общение с крупным харьковским ученым профессором Ф. Г. Бассом и его учеником, вскоре тоже ставшим профессором, Ю. Г. Гуревичем (Юрий Генрихович по рекомендации Ф. Г. Басса был оппонентом по моей кандидатской диссертации).

Ф. Г. Басс еще в середине 1970-х гг. как-то сказал на защите чей-то диссертации:

«Сейчас уже не прилично защищать диссертацию, если в ней нет нелинейности». Эта фраза может служить эпиграфом к научным работам по нелинейности.

Вскоре после защиты в июне 1975 г. кандидатской диссертации я разработал и стал читать спецкурс (объемом в 51 академический час) «нелинейные явления в ионосфере и космической плазме». Постепенно обновляя, я его уже читаю без малого сорок лет.

В начале 1980-х гг. на ученом совете факультета я обосновал целесообразность чтения общего курса «Нелинейная радиофизика». Кроме профессора О. А. Третьякова, меня никто не поддержал. Несколько лет ушло на то, чтобы убедить своих старших коллег, что настало время читать такой курс. А возражение было таким:

— Если мы под каждого профессора будем открывать новый курс, что оно будет...

Чем глубже я исследовал эффекты воздействия на ионосферную плазму мощного радиоизлучения, стартов ракет, полетов космических

* Гинзбург В. Л. Нелинейные явления в плазме, находящейся в переменном электромагнитном поле / В. Л. Гинзбург, А. В. Гуревич // УФН. — 1960. — Т. 70, № 2. — С. 201, № 3. — С. 393

аппаратов, мощных взрывов, падений крупных небесных тел, землетрясений, вулканов, циклонов, гроз, штормов, цунами и т. д., тем больше я убеждался, что нелинейность — универсальное фундаментальное и главное свойство мира. В этом состоит суть нелинейной парадигмы. В таком виде я ее сформулировал в середине 1980-х гг. при разработке и чтении курса «Нелинейная радиофизика». Более чем за четверть века этот курс прослушало свыше 2 тыс. студентов.

В 1998 г. мне удалось за свой счет издать два учебных пособия «Нелинейная радиофизика» и «Нелинейные явления в радиофизике. Сборник задач». Последнее пособие мы подготовили вместе с моим аспирантом, а ныне профессором О. В. Лазоренко.

Пропагандируя идеи нелинейности, я написал несколько обзорных и обобщающих статей, а также издал монографию.

Заключение

Я уже 45 лет на родном радиофизическом факультете. Первые пять лет я был студентом. На РФФ я получил хорошее образование, которое позволило мне «без остановки» войти в «большую» науку. Сорок лет я посвятил занятию наукой, обучению студентов и подготовке кадров высшей квалификации. Опубликовал 14 учебных пособий.

В статье ограниченных размеров я не смог остановиться на встречах с замечательными учеными — Нобелевским лауреатом, академиком АН СССР/РАН В. Л. Гинзбургом, академиком РАН А. В. Гуревичем и доктором физико-математических наук А. Б. Шварцбургом (он был оппонентом по моей докторской диссертации, соавтором статей).

С большой теплотой я вспоминаю минуты общения с горьковскими (нижегородскими) радиофизиками, в том числе и учениками В. Л. Гинзбурга, — В. В. Беликовичем, Е. А. Бенедиктовым, Б. Н. Гершманом, Г. Г. Гетманцевым, Л. В. Гришкевичем, Н. Г. Денисовым, Л. М. Ерухимовым, В. А. Ивановым, Ю. А. Игнатьевым, Н. А. Митяковым, С. В. Поляковым, В. А. Разиным, В. О. Рапопортом, В. Ю. Трахтенгерцом, В. Л. Фроловым, В. П. Урядовым и др.

С В. Л. Фроловым и В. П. Урядовым я продолжаю сотрудничать и сейчас, мы проводим совместные исследования модификации ионосферы мощным радиоизлучением.

У меня были хорошие научные контакты с московскими радиофизиками и геофизиками из ИЗМИРАН: Н. П. Беньковой, В. В. Васьковым, А. Н. Зайцевым, В. Ю. Кимом, Н. Г. Клейменовой, Л. А. Лобачевским, В. В. Мигулиным, О. А. Молчановым, В. Н. Ораевским, А. Е. Резниковым, В. М. Синельниковым, М. Н. Фаткулиным,

Ю. Н. Черкашиным, Е. Е. Цедилиной и др. Академик В. В. Мигулин и профессор В. Н. Ораевский (кстати, выпускник Харьковского государственного университета имени А. М. Горького) в свое время были директорами ИЗМИРАН.

С директором ИЗМИРАН В. Д. Кузнецовым, как и с директором ИКИ РАН Л. М. Зеленым, я систематически встречаюсь на научных конференциях.

С радиофизиками из ИРЭ РАН В. Ф. Кравченко и А. А. Потаповым я опубликовал большое количество совместных научных статей.

Плодотворным было сотрудничество с директором ИРЭ РАН академиком РАН Ю. В. Гуляевым и директором ЦКБ уникального приборостроения академиком РАН В. И. Пустовойтом. Я с ними, а также с О. В. Лазоренко и С. В. Панасенко опубликовал ряд статей в Докладах РАН (ДАН).

Обсуждал я научные проблемы и с радиофизиками (геофизиками) из Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (В. Д. Гусев, В. Е. Куницын и др.).

Тесные научные контакты были с сотрудниками Института физики Земли (Л. С. Альперович, В. А. Пилипенко, Е. Н. Федоров и др.), Института прикладной геофизики (С. И. Козлов, Ю. М. Романовский и др.), Отдела теоретических проблем АН СССР (Г. В. Федорович и др.), Московского авиационного института (И. Я. Иммореев и др.).

Нельзя не вспомнить научное общение с коллегами из Полярного института (Б. Е. Брюнелли, И. Н. Капустин, Ю. П. Мальцев, В. Д. Терещенко, Е. Д. Терещенко и др.), Томского физико-технического института (П. М. Нагорский и др.), новосибирского Института геологии и геофизики (И. М. Виленский, Н. И. Израилева, В. В. Плоткин и др.), иркутского Института солнечно-земной физики (Э. Л. Афраймович, Н. П. Перевалова и др.).

После 1991 г. наладилось сотрудничество с рядом украинских ученых: академиками НАН Украины В. М. Кунцевичем, Я. С. Яцкивым, членом-корреспондентом НАН Украины К. И. Чурюмовым, докторами наук В. Н. Ивченко, Г. П. Милиневским (у них я был оппонентом по докторским диссертациям), О. К. Черемныхом, а также директором ЛЦ ИКИ НКАУ/НАНУ С. А. Сорокой, кандидатом физико-математических наук Ю. В. Кызьюровым (моим бывшим дипломником) и многими другими.

Разумеется, в своей научной работе я тесно взаимодействовал с харьковскими радиофизиками и радиоастрономами из ИРЭ НАНУ и РИ НАНУ: академиками А. А. Коноваленко, Л. Н. Литвиненко,

В. М. Яковенко, членами-корреспондентами Д. М. Вавривым, Ю. М. Ямпольским, докторами наук В. К. Ивановым, С. А. Масаловым, А. А. Минаковым, А. П. Николаенко, В. Б. Разказовским и многими другими.

Плодотворным было сотрудничество с учеными из Института ионосферы НАНУ и МОНУ: профессорами И. Ф. Домниним, В. А. Пуляевым, В. И. Тараном, целым рядом научных сотрудников.

После 1991 г. также существенно активизировалось научное сотрудничество с коллегами из дальнего зарубежья (США, Канады, Великобритании, Японии и др.). Нам удалось принять участие в ряде международных проектов, выиграть ряд международных грантов.

Список основных публикаций

1. Черногор Л. Ф. О нелинейности в природе и науке : монография / Л. Ф. Черногор – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2008. – 528 с.
2. Черногор Л. Ф. Радиофизические и геомагнитные эффекты стартов ракет: монография / Л. Ф. Черногор – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. – 386 с.
3. Лазоренко О. В. Сверхширокополосные сигналы и процессы : монография / О. В. Лазоренко, Л. Ф. Черногор – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. – 576 с.
4. Черногор Л. Ф. Космос, Земля, человек: актуальные проблемы / Л. Ф. Черногор – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2010. – 192 с.
5. Черногор Л. Ф. Физика и экология катастроф : монография / Л. Ф. Черногор – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2011.
6. Лазоренко О. В. Фрактальные сверхширокополосные сигналы / О. В. Лазоренко, А. А. Потапов, Л. Ф. Черногор // Информационная безопасность: методы шифрования: коллективная монография. Кн. 7. // А. В. Струков, А. А. Потапов, Л. Ф. Черногор и др. ; под ред. Е. М. Сухарева ; [предисл. акад. Н. А. Кузнецова]. – М. : Радиотехника, 2011. – 208 с. – С. 151–187.
7. Блюх П. В. Сборник задач по спецкурсам кафедры космической радиофизики ХГУ / П. В. Блюх, Л. Ф. Черногор. – Х. : ХГУ имени А. М. Горького, 1977. – 240 с.
8. Черногор Л. Ф. Радиотехнические системы зондирования околоземного и космического пространств / Л. Ф. Черногор. – Х. : ХГУ имени А. М. Горького, 1982. – 344 с.
9. Черногор Л. Ф. Физика космоса и астрофизика / Л. Ф. Черногор. – Х. : ХГУ имени А. М. Горького, 1990. – 196 с.

10. Лазоренко О. В. Нелинейные явления в радиофизике : сборник задач / О. В. Лазоренко, Л. Ф. Черногор. — Х. : ХГУ имени А. М. Горького, 1994. — 132 с.
11. Черногор Л. Ф. Современная наука о природе: Интегрирующий курс естествознания / Л. Ф. Черногор. — Х. : ХГУ имени А. М. Горького, 1998. — 240 с.
12. Черногор Л. Ф. Нелинейная радиофизика : учебное пособие для физических факультетов университетов / Л. Ф. Черногор. — Изд. 2-е, перераб. — Х. : ХГУ имени А. М. Горького, 1998. — 196 с.
13. Лазоренко О. В. Нелинейные явления в радиофизике : сборник задач / О. В. Лазоренко, Л. Ф. Черногор. — Х. : ХГУ имени А. М. Горького, 1998. — 101 с.
14. Черногор Л. Ф. Современная наука о природе: Интегрирующий курс естествознания. / Л. Ф. Черногор. — Изд. 2-е, доп. — Х. : ХГУ имени А. М. Горького, 1999. — 362 с.
15. Черногор Л. Ф. Естествознание: Интегрирующий курс / Л. Ф. Черногор. — Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2000. — 415 с.
16. Черногор Л. Ф. Нелинейная радиофизика : учебное пособие / Л. Ф. Черногор. — Изд. 2-е, перераб. — Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2004. — 200 с.
17. Черногор Л. Ф. Нелінійна радіофізика : навчальний посібник : [пер. з рос.] / Л. Ф. Черногор. — Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2006. — 200 с.
18. Черногор Л. Ф. Естествознание: Интегрирующий курс. / Л. Ф. Черногор. — Изд. 2-е, доп. и испр. — Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2007. — 536 с.
19. Черногор Л. Ф. Природознание: Интегрирующий курс : [пер. з рос.] / Л. Ф. Черногор. — Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2008. — 524 с.
20. Черногор Л. Ф. Дистанционное радиозондирование атмосферы и космоса: учебное пособие / Л. Ф. Черногор. — Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. — 500 с.
21. Гармаш К. П. Эффекты в околоземной плазме, стимулированные воздействием мощного радиоизлучения / К. П. Гармаш, Л. Ф. Черногор // ЗР. Успехи современной радиоэлектроники. — 1998. — № 6. — С. 17–40.
22. Черногор Л. Ф. Энергетика процессов в атмосфере и околоземном космосе в свете проекта «Попередження» / Л. Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. — 1999. — Т. 5, № 1. — С. 38–47.
23. Свищ В. М. Анализ возможностей использования геостационарных стратостатов для решения телекоммуникационных проблем / В. М. Свищ, Л. Ф. Черногор // ЗР. Успехи современной радиоэлектроники. — 2003. — № 5. — С. 3–21.

24. Черногор Л. Ф. Физические процессы в околоземной среде, сопровождавшие военные действия в Ираке (март — апрель 2003 г.) / Л. Ф. Черногор // Космічна наука і технологія. — 2003. — Т. 9, № 2/3. — С. 13–33.

25. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы / Л. Ф. Черногор // Радиофизика и радиоастрономия. — 2003. — Т. 8, № 1. — С. 59–106.

26. Черногор Л. Ф. Взрывы боеприпасов на военных базах — источник экологических катастроф в Украине / Л. Ф. Черногор // Екологія і ресурси. — 2004. — № 10. — С. 55–67.

27. Черногор Л. Ф. Взрывы на газопроводах и аварии на газовых хранилищах — источник экологических катастроф в Украине / Л. Ф. Черногор // Екологія і ресурси. — 2008. — № 3. — С. 56–72.

28. Chernogor L. F. Earth — Atmosphere — Geospace as an Open Nonlinear Dynamical System / L. F. Chernogor, V. T. Rozumenko // Radio Physics and Radio Astronomy. — 2008. — V. 13, № 2. — P. 120–137.

29. Chernogor L. F. The Earth — atmosphere — geospace system: main properties and processes / L. F. Chernogor // International Journal of Remote Sensing. — 2011. — V. 32, No 11. — P. 3199–3218.