

## **Дорога в жизни – дорога в науке. Памяти Дмитрия Сергеевича Лукина**

Д.В. Растягаев, А.С. Крюковский, Е.А. Палкин

*АНО ВО «Российский новый университет»*

*105005, г. Москва, ул. Радио, 22.*

*E-mail: [rdv@rosnou.ru](mailto:rdv@rosnou.ru)*

*В работе рассмотрены основные научные результаты, полученные выдающимся советским и российским ученым Д.С. Лукиным в области радиофизики: распространение, дифракция и фокусировка радиоволн в ионосфере, магнитосфере и тропосфере Земли и планет, организация радиосвязи в различных частотных диапазонах, дистанционное зондирование сред, динамический хаос. Представлены основные этапы его жизненного пути.*

*Ключевые слова: распространение радиоволн, ионосфера, катастрофы, лучи, каустики*

## **The Road in Life – the Road in Science. In memory of Dmitry Sergeevich Lukin**

D.V. Rastyagaev, A.S. Kryukovsky, E.A. Palkin

*Russian New University.*

*The work discusses the main scientific results obtained by the outstanding Soviet and Russian scientist D.S. Lukin in the field of radiophysics: propagation, diffraction and focusing of radio waves in the ionosphere, magnetosphere and troposphere of the Earth and planets, organization of radio communications in various frequency ranges, remote sensing of media, dynamic chaos. The main stages of his life are presented.*

*Keywords: propagation of radio waves, ionosphere, disasters, rays, caustics*

### **Введение**

Настоящая работа посвящена памяти Дмитрия Сергеевича Лукина (1937-2024) – выдающегося российского ученого в области распространения и дифракции радиоволн, доктора физико-математических наук, профессора, лауреата Государственной премии СССР в области науки и техники, и представляет основные этапы его жизненного и научного пути.

Дмитрий Сергеевич Лукин родился 6 октября 1937 года в деревне под Вязьмой. Будучи ребёнком, он пережил все ужасы немецкой оккупации. После окончания школы Дмитрий Сергеевич в 1956 году поступил в Московский физико-технический институт (МФТИ).

Путь в науку он начал на кафедре «Антенны и распространение радиоволн» Московского физико-технического института, будучи студентом второго курса.

На шестом курсе Д.С. Лукин женился. Со своей женой – Ольгой Прохоровной – они прожили вместе более 60 лет.

После окончания института в 1962 г. Дмитрий Сергеевич продолжил работу на кафедре «Антенны и распространение радиоволн».

В 1979 г. он возглавил кафедру, переименованную к тому времени в кафедру “Распространение радиоволн и космическая радиосвязь”, а с 1985 – в кафедру “Физико-математические проблемы волновых процессов”.

Под его руководством коллектив кафедры продолжил работу в таких областях радиофизики, как: распространение, дифракция и фокусировка радиоволн в ионосфере,

магнитосфере и тропосфере Земли и планет, организация радиосвязи в различных частотных диапазонах, дистанционное зондирование сред, динамический хаос.



Профессор Дмитрий Сергеевич Лукин



Студенты МФТИ: Митрофанов В., Лукин Д.,  
Шушпанов О., Морозов И., Огрин Ю.



Студенческие годы



Регистрация брака в ЗАГСе: Ольга Прохоровна и Дмитрий Сергеевич в окружении свидетелей и друзей.



С молодыми коллегами по МФТИ. Д.С. Лукин в первом ряду, второй слева

В 1965 году им была защищена кандидатская, а в 1984 – докторская диссертация. Он являлся автором более 300 научных работ и четырех монографий.



Коллектив кафедры. Сидят: Чубинский Н.П., Савченко П.П., Стасевич В.И., Лукин Д.С., Дубровский К., Чернов Б.Н., Лещанский Ю.И.; стоят: Дручинин С.В., Лапин А.В., Подшибякин Н.Г., Крюковский А.С., Сокова И.В., Палкин Е.А., Растягаев Д.В.



На кафедре МФТИ. Лещанский Ю.И., Палкин Е.А., Лукин Д.С., Чубинский Н.П.

Одним из первых направлений научной работы Д.С. Лукина, выполненной под руководством заведующего кафедрой профессора А.Н. Казанцева, стал цикл работ по численному моделированию распространения радиоволн для связи с искусственными спутниками Земли и пилотируемыми космическими кораблями. Дмитрием Сергеевичем был предложен метод бихарактеристик для прогнозирования условий радиосвязи в околоземном космическом пространстве. Значительные успехи были достигнуты Д.С. Лукиным при моделировании волновых полей в областях фокусировки электромагнитных волн в неоднородных средах.



Профессор Александр Николаевич Казанцев

Изучение влияния глобальной регулярно-неоднородной структуры атмосфер (ионосфер, магнитосфер и тропосфер) Земли и планет на распространение радиоволн в ближнем и дальнем космосе является актуальным для решения многих проблем дальней космической связи, радиолокации, радионавигации, сверхдальней коротковолновой (КВ) связи, загоризонтной КВ радиолокации, возвратно-наклонного и трансйонсферного зондирования, связи с орбитальными аппаратами и автоматическими межпланетными станциями в диапазонах ультракоротких, коротких и сверхдлинных волн, радиопросвечивания атмосфер планет и изучения поверхностей планет радиофизическими методами.

Актуальными задачами исследования процессов распространения радиоволн в ближнем и дальнем космосе в те годы (да и в настоящее время), решаемыми в работах Д.С. Лукина, стали:

- совершенствование методов учета влияния рефракции и аномальных условий распространения радиоволн в глобально-неоднородных тропосферах и ионосферах Земли и планет;

- исследования распространения радиоволн в ближнем и дальнем космосе, направленные на улучшение условий связи, радиолокации, радионавигации и пеленгации космических аппаратов. Разработка новых методов расчета дифракции и условий распространения радиоволн в регулярно-неоднородных атмосферах (тропосферах и ионосферах) Земли и планет. Исследование атмосфер планет методом радиопросвечивания и решение обратных задач для определения физических характеристик атмосфер и поверхностей планет по результатам прохождения и отражения радиоволн;

- оперативное численное прогнозирование (моделирование) сверхдальнего распространения декаметровых радиоволн в ионосфере Земли с адекватным учетом её реальных глобально-неоднородных характеристик для целей загоризонтной радиолокации. Исследование ионосферных волновых каналов различных типов, механизмов распространения и захвата в них декаметровых радиоволн с учетом глобального распределения вертикальных и горизонтальных градиентов электронной концентрации в ионосфере Земли;

- теоретическое и экспериментальное изучение тонкой дифракционной структуры радиосигнала в реальной ионосфере Земли на различных коротковолновых трассах в зависимости от частоты, дальности, суточных, сезонных и годовых вариаций параметров среды (ионосферы). Исследование влияния плавных ионосферных возмущений, обусловленных распространением внутренних гравитационных волн в атмосфере на тонкую спектральную и дифракционную структуру сигнала при распространении коротких волн в реальной горизонтально-неоднородной ионосфере Земли;

- исследование распространения сверхдлинных радиоволн (ОНЧ) в глобально-неоднородной магнитосфере Земли и численное моделирование (с учетом дифракционных эффектов) амплитудной и фазовой структуры полей ОНЧ с целью выбора диапазона рабочих частот и интерпретации результатов при экспериментальных исследованиях, проводимых на космических аппаратах.

Предложенная Д.С. Лукиным дифракционно-лучевая теория построена на основе канонического оператора В.П. Маслова (КОМ), который является наиболее общим и математически строго обоснованным асимптотическим методом.

Д.С. Лукин вместе с своими учениками на основе метода КОМ, органически связанного с лучевым подходом к решению задач, разработал теорию волновых катастроф. КОМ строится на лагранжевом многообразии – лучевом потоке в расширенном фазовом пространстве. Лучевой поток задаётся решениями канонической

системы Гамильтона (бихарактеристической системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которая соответствует дифференциальным уравнениям в частных производных исходной волновой задачи).



Профессор Дмитрий Сергеевич Лукин и Академик Виктор Павлович Маслов

Особенности проектирования лучевого потока из расширенного фазового пространства в конфигурационное определяют типы фокусировок – топологическую структуру каустик, которые в теории катастроф изучены и классифицированы в работах В.И. Арнольда, Р. Тома и других отечественных и зарубежных математиков.

Расходимость лучевого потока в фазовом пространстве несёт информацию о структуре волнового поля и в том случае, когда лучевой поток проектируется на конфигурационное пространство, образуются особенности, каустики. Метод КОМ, по существу, использует расходимость лучевого потока в фазовом пространстве и осуществляет переход в конфигурационное пространство с целью количественного описания поля на каустиках любого типа при помощи интегрального преобразования Фурье по одной или двум координатам, в зависимости от степени вырождения якобиана лучевого потока в конфигурационном пространстве.

В общем случае результирующее волновое поле описывается интегральными представлением, причём лучи являются его стационарными точками и определяются, как уже отмечалось, решениями канонической системы Гамильтона, в которой параметром дифференцирования является время группового распространения сигнала, а правые части уравнений находятся из дисперсионного соотношения. Если стационарные точки не совпадают (проекция лучевого потока из фазового пространства в конфигурационное не имеет особенностей), метод стационарной фазы, применённый к

интегральному представлению, даёт решение задачи в виде суммы лучей, то есть имеет место обычная интерференция лучевых решений.

В противном случае, когда при проектировании лучевого потока появляются особенности, несколько стационарных точек сливаются, а кратность их вырождения определяет тип каустической фокусировки (тип катастрофы) и соответствующую спецфункцию волновой катастрофы (СВК), количественно описывающую дифракционную структуру волнового поля в совокупности (суперпозиции) с другими лучевыми полями, сформированными не кратными стационарными точками.

В зависимости от начальных условий задачи и характеристик среды, топология лучевого потока в фазовом пространстве может; быть настолько сложной, что в определенной области пространства одновременно может существовать суперпозиция обычных лучевых решений с несколькими сложными дифракционными структурами, каждая из которых определяется своей СВК. По этой причине, для произвольной глобально-неоднородной среды заранее, без предварительного анализа лучевой картины, не представляется возможным подобрать подходящие спецфункции или эталонные уравнения, адекватно описывающие реальную суперпозицию различных лучевых и дифракционных полей.

Д.С. Лукиным впервые была предложена расширенная бихарактеристическая система, численное интегрирование которой полностью определяет топологию лучевого потока (лагранжева многообразия) при распространении волн в произвольной глобально-неоднородной среде, особенности его проектирования на конфигурационное пространство – каустики, и позволяет связать геометрические характеристики лучевого потока с аргументами и коэффициентами СВК. Дмитрием Сергеевичем предложен численный канонический метод расчета волновых полей (лучевой, амплитудно-фазовой и дифракционной структуры) при распространении радиоволн в регулярных глобально-неоднородных средах, основанный на численном интегрировании расширенной бихарактеристической системы и расчета СВК.

Дмитрий Сергеевич внес значительный вклад в развитие и применение асимптотических методов в теории дифракции, фокусировки и распространения радиоволн в реальных природных средах (в сильно поглощающих грунтах с дисперсией, строительных материалах, в атмосфере Земли и планет, в ионосферной и магнитосферной плазме, подземной радиолокации).

Создано новое перспективное направление в изучении дифракции и распространения волн в трёхмерных глобально-неоднородных средах: численное моделирование задач распространения волн в неоднородных средах с адекватным учетом их глобально-неоднородных характеристик, основанное на численном интегрировании бихарактеристической системы и вычислении быстроосциллирующих интегралов (СВК), полученных из канонического оператора Маслова. Данное направление допускает решение широкого класса задач радиофизики, акустики, оптики и сейсмологии и легко реализуется средствами современной вычислительной техники.

Работы Д.С. Лукина имеют не только важное теоретическое, но и существенное практическое значение. Им разработан численный метод, позволяющий адекватно учитывать реально существующие глобально-неоднородные характеристики трёхмерной тропосферы, ионосферы, магнитосферы и искусственных плазменных образований при решении целого класса практически важных задач радиосвязи, радиолокации и радионавигации в ближнем и дальнем космосе. Научные результаты, полученные Д.С. Лукиным, были внедрены при проектировании линий связи, радиолокации и радионавигации, при создании антенно-фидерных устройств для ряда космических аппаратов, при построении моделей тропосферы и ионосферы Земли, Марса, Венеры и Юпитера.

Дмитрий Сергеевич вел большую педагогическую и научно-организационную работу. Одним из результатов его деятельности стало создание научной школы, в рамках которой совместно с учениками Д.С. Лукин создал новое научное направление в радиофизике – “Волновую теорию катастроф”. Дмитрием Сергеевичем подготовлено 35 кандидатов наук, 7 из которых впоследствии стали докторами наук. С 1975 г. он являлся председателем секции “Распространение и дифракция радиоволн” в Центральном правлении РНТО радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, а с 2009 г. – председателем Научного совета ОФН РАН по распространению радиоволн.



На конференции в Казани: Д.С. Лукин, В.В. Мигулин, А.М. Насыров, В.В. Сидоров, В.Е. Куницын, И.А. Насыров, В.И. Куркин, Н.А. Арманд, Ю.Н. Черкашин, А.С. Крюковский и др.



После заседания бюро Научного Совета ОФН РАН по распространению радиоволн (Растягаев Д.В., Лукин Д.С., Куницын В.Е., Коломиец С. Ф., Кутуза Б.Г., Крюковский А.С., Шустов Э.И.)

Вместе с Н.А. Армандом и Г.Г. Щукиным Дмитрий Сергеевич активно участвовал в работе Муромских радиофизических конференций, известных в настоящее время как «Армандовские чтения».



Участники Армандовских чтений, Муром.



Г.Г. Щукин, Н.В. Чайковская, Д.С. Лукин, А.В. Федин  
Армандовские чтения, Муром

В течение 15 лет Дмитрий Сергеевич руководил проведением традиционных конференций научного совета ОФН РАН по Распространению радиоволн.



На конференциях в Йошкар-Оле



На конференции в Казани, 2019 г.



На конференции в Иркутске. 2014 г. (слева А.П. Потехин)

По инициативе Д.С. Лукина была возрождена традиция проведения Всероссийской школы-конференции по дифракции и распространению волн. Последние пять лет он руководил научными исследованиями в области радиофизики в Российском новом университете, являлся научным руководителем грантов РФФИ по теме «Фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования неоднородностей ионосферы Земли и их влияния на распространение волн коротковолнового диапазона».



Д.С. Лукин и В.А. Зернов в РосНОУ

Научная и педагогическая работа Д.С. Лукина получили признание и оценку. Он был удостоен премии Ленинского комсомола 1971 г. за “Цикл научных работ по исследованию распространения радиоволн, излучаемых ИСЗ, ракет и космических межпланетных станций” и премии Совета Министров СССР за работу “Телец” (1985 г.). За разработку и применение асимптотических методов в теории дифракции и распространения электромагнитных волн Д.С. Лукину и его ученикам в 1990 г. была присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники. Исследования Д.С. Лукина были отмечены Государственной научной стипендией в области физики и астрономии СССР и стипендией DAAD, а также почетными грамотами Минвуза РСФСР и России. В 1987 г. он был награжден знаком “Высшая школа СССР. За отличные успехи в работе”. За личный вклад в развитие фундаментальных исследований в области распространения радиоволн, создание научной школы, разработку и создание систем космической связи, активную и плодотворную работу по подготовке научных кадров высшей квалификации Д.С. Лукин в 1996 г. был удостоен почетного звания “Заслуженный деятель науки Российской Федерации”, а в 2008 г. – звания “Почетного работника высшего профессионального образования”.

Дмитрий Сергеевич Лукин был прост в общении, вел здоровый образ жизни его любили и уважали все, кто знал близко

Будучи ярким и выдающимся представителем радиофизической школы, Дмитрий Сергеевич успешно трудился над решением проблем в этой области. Перспективность заложенных и развитых им научных направлений, глубина и оригинальность анализа широчайшего круга радиофизических проблем, фундаментальное значение получаемых результатов всегда служили образцом для коллег и учеников.



На даче Д.С. Лукина.



### **Некоторые основные труды Д.С. Лукина**

1. Казанцев А.Н., Лукин Д.С., Спиридонов Ю. Г. Метод исследования распространения радиоволн в неоднородной магнитоактивной ионосфере // Космические исследования. 1967. Т. 5. № 4. С. 593–600.
2. Лукин Д.С., Школьников В.А. Численный метод расчета эффекта Доплера и приведённой разности доплеровских частот радиоволн, излучаемых когерентно с ИСЗ // Космические исследования. 1968. Т. 6. № 3. С. 389–394.
3. Лукин Д.С., Спиридонов Ю.Г. Применение метода характеристик для численного решения задач распространения радиоволн в неоднородной и нелинейной среде. // Радиотехника и электроника. 1969. Т. 14. № 9. С. 1673–1677.
4. Лукин Д.С., Школьников В.А. Исследование влияния регулярных горизонтальных градиентов, локальной и интегральной электронных концентраций ионосферы на величину и характер изменения вдоль орбиты ИСЗ приведённой разности доплеровских смещённых частот // Космические исследования, 1972. Т. 10. № 1. С. 66–72.
5. Лукин Д.С., Палкин Е.А. Численный канонический метод в задачах дифракции и распространения электромагнитных волн в неоднородных средах // М.: МФТИ, 1982. 159 с.
6. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Палкин Е.А. Краевые и угловые катастрофы в задачах дифракции и распространения волн // Казань, КАИ. 1988. 199 с.
7. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Палкин Е.А. Равномерные асимптотики и угловые катастрофы // Доклады Академии наук. 1995. Т. 341. № 4. С. 456–459.
8. Крюковский А.С., Лукин Д.С. Построение равномерной геометрической теории дифракции методами краевых и угловых катастроф // Радиотехника и электроника. 1998. Т. 43. № 9. С. 1044–1060.
9. Крюковский А.С., Лукин Д.С. Краевые и угловые катастрофы в равномерной геометрической теории дифракции // М.: МФТИ, 1999. 134 с.
10. Крюковский А.С., Лукин Д.С. Теория расчета эталонных фокальных и дифракционных электромагнитных полей на основе специальных функций волновых катастроф // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 8. С. 912–921.
11. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Палкин Е.А., Растягаев Д.В. Волновые катастрофы – фокусировки в дифракции и распространении электромагнитных волн // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51. № 10. С. 1155–1192.
12. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Кирьянова К.С. Метод расширенной бихарактеристической системы при моделировании распространения радиоволн в ионосферной плазме // Радиотехника и электроника. 2012. Т. 57. № 9. С. 1028–1034.
13. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Растягаев Д.В., Скворцова Ю.И. Математическое моделирование распространения частотно-модулированных радиоволн в ионосферной плазме // Радиотехника и электроника. 2015. Т. 60. № 10. С. 1001
14. Бова Ю.И., Крюковский А.С., Лукин Д.С. Распространение частотно-модулированного излучения электромагнитных волн в ионосфере Земли с учетом поглощения и внешнего магнитного поля // Радиотехника и электроника. 2019. Т. 64. № 1. С. 3–14.
15. Крюковский А.С., Лукин Д.С., Михалева Е.В., Палкин Е.А., Растягаев Д.В. Математическое моделирование влияния неоднородностей ионосферы земли на распространение электромагнитных волн. // Радиотехника и электроника. 2024. Т. 69. № 6. С. 501–512.
16. Kryukovsky A.S., Lukin D.S., Rastyagaev D.V. Systems of differential equations for determining the fundamental vector of special wave catastrophes // Russian Journal of Mathematical Physics. 2024. Т. 31. № 4. С. 691–705.