

## ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ДАЛЬНОГО ТРОПОСФЕРНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

В.А. ПЕТРОВ

Статья рассказывает о двух малоизвестных работах, которые связаны с исследованиями дальнего тропосферного распространения радиоволн – докладе Д.Т. Гьессинга и монографии под редакцией Я.С. Шифрина.

The paper narrates about two almost unknown works connected with researches in the far tropospheric propagation of radio waves – the paper of D.T. Gjessing and the monograph edited by Y.S. Shifrin.

В 1945 году при исследовании распространения радиоволн сантиметрового диапазона в слое влажного воздуха над поверхностью океана [1] было обнаружено, что напряженность поля далеко за пределами радиогоризонта убывает с ростом дальности значительно медленнее, чем могла бы объяснить любая из существующих теорий. Интенсивные флуктуации указывали на участие в механизме наблюдаемого явления каких-то случайных процессов. Аналогичные результаты были получены и при исследовании распространения радиоволн над сухой земной поверхностью в Аризоне [2]. Обнаруженное явление позднее получило название дальнего тропосферного распространения радиоволн (ДТР).

В 1950 году Букер и Гордон опубликовали теорию рассеяния радиоволн в тропосфере [3], которая объясняла явление ДТР взаимодействием волн с флуктуациями диэлектрической проницаемости воздуха. Для вычисления средней интенсивности поля, рассеянного в заданном направлении, в работе [3] определен «эффективный поперечник рассеяния»  $\sigma$ . Если известен объем  $V$  области неоднородной среды, в которой происходит рассеяние, то расчет интенсивности поля в месте приема сигналов выполняется по хорошо известным формулам радиолокации. В теории Букера и Гордона  $\sigma$  определяется выбранной моделью автокорреляционной функции относительных флуктуаций диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  воздуха. Расчеты поля за радиогоризонтом для экспоненциальной модели функции автокорреляции дали обнадеживающие результаты, и казалось, что один из главных механизмов явления ДТР найден.

Перспектива использования ультракоротких волн для связи далеко за пределами прямой видимости стимулировала активные теоретические и экспериментальные исследования во всем мире. Трудно назвать другую область науки и техники, которой было бы посвящено такое количество публикаций. Интерес исследователей «подогревался» тем, что данные разных экспериментальных работ не совпадали, а во многих случаях теоретические расчеты не подтверждались на практике. Дорогостоящие программы исследований расширились, но природа этого интересного

явления оставалась неясной. Становилось очевидным, что учета только флуктуирующей части коэффициента преломления воздуха недостаточно.

Теоретические исследования рассеяния и отражения от слоистых неоднородностей тропосферы также приводили к результатам, неплохо согласующимся с данными ряда экспериментов. Выяснилось, что степень влияния разных механизмов ДТР зависит от времени суток и сезона, а для интерпретации рассеяния требуются дополнительные сведения о пространственном распределении  $\epsilon$ . Нужны статистические характеристики, справедливые для текущего интервала времени (выборочные статистики), функции автокорреляции флуктуаций  $\epsilon$ , вычисленные также для этого интервала, «вертикальный профиль»  $\epsilon$  и др. Поэтому часть исследований была направлена на уточнение структурных особенностей тропосферы и измерение статистических характеристик пространственного распределения диэлектрической проницаемости.

Среди опубликованных в этот период (1959 – 1965 гг.) работ есть очень интересные публикации, ссылок на которые читатель, наверно, не найдет в советской монографической или периодической литературе. Трудно сказать, что тому причиной – объективные препятствия или человеческие слабости.

Можно назвать, по крайней мере, две такие публикации, и каждая из них заслуживает внимания. Эти работы оказали существенное влияние на наши исследования и в значительной мере определили их направление. Рассказывая об этих работах, хотелось бы избежать невольных сравнений, а тем более – противопоставлений... Впрочем, все познается в сравнении.

### ЗАБЫТЫЙ ДОКЛАД

Активные исследования структуры атмосферы и особенностей распространения радиоволн требовали координации усилий ученых разных стран. В 1966 г. в Москве состоялся международный colloquium, посвященный атмосферной турбулентности и распространению радиоволн. Доклад норвежского ученого Д.Т. Гьессинга «Радиофизические аспекты нерегулярной структуры

атмосферы» [4] обобщал результаты исследований, выполненных им в 1960 – 1964 годах.

Опираясь на теорию Букера и Гордона и работы Дж. Бэтчелора, Д.Т. Гьессинг использовал выражение для эффективного поперечника рассеяния  $\sigma$  в следующей изящной форме:

$$\sigma = \frac{\pi}{2} k^4 \Phi(\mathbf{K}, t), \quad (1)$$

где  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  – длина волны,  $\mathbf{K} = \mathbf{k}_0 - \mathbf{k}_s$ ,  $|\mathbf{k}_0| = |\mathbf{k}_s| = k$ ,  $\mathbf{k}_0$  и  $\mathbf{k}_s$  – волновые векторы падающей и рассеянной волн,  $\Phi(\mathbf{K}, t)$  – преобразование Фурье автокорреляционной функции флуктуаций  $\varepsilon(\mathbf{r})$  в момент времени  $t$ ,  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор точки в области  $V$ , внутри которой происходит рассеяние.

Из определения  $\mathbf{K} = \mathbf{k}_0 - \mathbf{k}_s$  следует:

$$|\mathbf{K}| = 2k \sin(\theta/2), \quad (2)$$

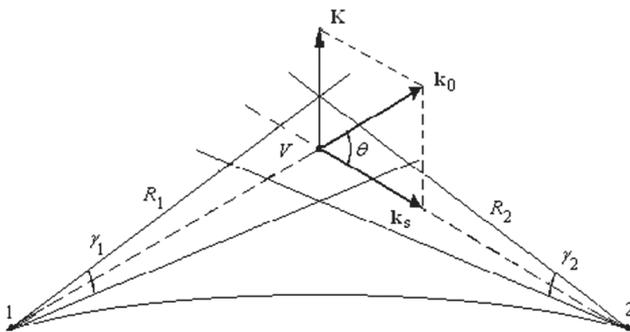
где  $\theta$  – угол между векторами  $\mathbf{k}_0$  и  $\mathbf{k}_s$  (рисунок).

Если объем области  $V$  известен, а рассеяние из разных элементов этой области некогерентно, то эффективная площадь вторичного излучения всего объема  $S = \sigma V$ .

Средняя интенсивность поля  $I$  (плотность потока мощности) вблизи приемной антенны вычисляется по формуле

$$I = \frac{P_u \cdot G \cdot S}{(4\pi)^2 R_1^2 R_2^2},$$

где  $P_u$  – мощность передатчика,  $G$  – коэффициент усиления антенны передатчика,  $R_1$  и  $R_2$  – расстояния от области  $V$  до передатчика 1 и приемника 2.



Трасса распространения радиоволн

Если эффективная площадь приемной антенны равна  $A$ , то мощность принятого рассеянного сигнала

$$P_c = IA = \frac{P_u G S A}{(4\pi)^2 R_1^2 R_2^2} = \frac{P_u G \sigma V A}{(4\pi)^2 R_1^2 R_2^2}.$$

В этой формуле все величины, кроме  $S$ , однозначно определяются условиями эксперимента. Объем  $V$  также можно рассчитать, если известны  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  – ширина диаграмм направленности антенн на уровне 0,5. Таким образом, чтобы вычислить  $P_c$ , нужно иметь значение  $\sigma$ .

Д.Т. Гьессинг ставит обратную задачу: по измеренным значениям  $P_c$  при разных углах рассеяния  $\theta$  найти  $\sigma$  и вычислить  $\Phi(\mathbf{K})$  по формулам (1) и (2), причем в таком интервале углов  $\theta$ , которые характерны для ДТР. Этот интервал приблизительно соответствует  $1^\circ < \theta < 6^\circ$ . Такой путь исследования атмосферной турбулентности требовал сложного оборудования и тщательно подготовленного эксперимента. План предусматривал возможность согласованного перемещения диаграмм направленности передающей и приемной антенн по азимуту и углу места. При этом область пересечения диаграмм перемещалась по горизонтали, по вертикали, а также по дуге, причем так, чтобы длина вектора  $\mathbf{K}$  оставалась постоянной, а его направление изменялось. Протяженность трасс составляла 340 км и 167 км.

В ходе экспериментов исследовались также пространственная неоднородность тропосферы, частота замираний, ширина спектра сигнала и доплеровский сдвиг частоты.

Обработка данных обширных экспериментальных работ привела к неожиданным результатам. Искомый спектр  $\Phi(\mathbf{K})$  после усреднения по всем сериям наблюдений аппроксимировался зависимостью

$$\Phi(|\mathbf{K}|) \sim k^{-7,4}.$$

С учетом максимального возможного изменения объема  $V$  при изменении  $\theta$  получилась зависимость

$$\Phi(|\mathbf{K}|) \sim k^{-6,4}, \quad (3)$$

тогда как из теории атмосферной турбулентности следовало ожидать

$$\Phi(|\mathbf{K}|) \sim k^{-11/3} = k^{-3,66}. \quad (4)$$

Явное несоответствие зависимостей (3) и (4) указывало на то, что выражение (1) не учитывает какие-то существенные факторы. Попытка решения обратной задачи оказалась неудачной. Зависимость (3), как отмечается в работе [4], не согласовалась и с данными Кэрлла и Ринга о распространении волн в нормально стратифицированной тропосфере. Не нашли экспериментального подтверждения и предположения о том, что поле за радиогоризонтом обусловлено отражением от горизонтально ориентированных слоистых образований.

Один из любопытных итоговых выводов работы в дословном переводе звучит так: «Если источниками рассеянных волн являются слои с синусоидальной волнообразной структурой, то отношение амплитуды к длине волны в этих слоях должно быть большим, и должно быть много таких слоев, чтобы объяснить результаты исследования однородности среды и ход замираний сигнала».

Возможно, работу Д.Т. Гьессинга постигла типичная участь исследований с отрицательным

результатом. Настораживающее несоответствие теории и эксперимента в этих исследованиях, к сожалению, не стало стимулом для уточнения теории рассеяния волн в тропосфере. Результаты работы в то время оказались не востребованными.

Эти исследования фактически были попыткой изучения атмосферы путем дистанционного наклонного зондирования. К этим вопросам раньше или позже придется вернуться, но в 1961 – 1964 годах постановка такой задачи оказалась преждевременной. И все же нужно отдать должное планированию сложного эксперимента и ценности полученного экспериментального материала. Причины неудачи отчасти стали понятны значительно позже, при решении задачи рассеяния волн в зоне дифракции Френеля. И тогда гипотеза о «волнообразных слоях» приобрела иное звучание, а наблюдения Д.Т. Гьессинга оказались очень полезными в исследованиях структуры источников вторичного излучения при разных состояниях тропосферы.

#### «НЕИЗВЕСТНАЯ» МОНОГРАФИЯ

*... Математическое и физическое понимание проблемы часто идут рука об руку. Рассуждениями математика часто руководит физическое воображение, а так называемые физические соображения опираются, сознательно или нет, на очень хорошо понятые и, следовательно, хорошо знакомые математические законы...<sup>1</sup>*

Все, кому довелось быть первыми, знают, какого труда и напряжения сил требует любой новый научный результат. В первых исследованиях такого многопланового и сложного явления, как распространение ультракоротких волн за радиогоризонт, неясных вопросов было слишком много. Новые экспериментальные данные порождали новые вопросы. Общей чертой всех теоретических работ являлось то, что явление ДТР описывалось каждой из них лишь частично. Серьезное расхождение экспериментальных данных и результатов теоретического анализа вызывало недоверие разработчиков аппаратуры к теоретическим работам. Высказывалось мнение, что накопление опытных данных остается главной задачей исследователей. Как всякая крайность, такой подход лишь снижал уровень и ценность результатов исследований.

Сейчас, читая описание «чисто экспериментальных» работ, порой трудно понять, что именно хотел исследовать автор. Еще труднее использовать опубликованные материалы этих исследований для построения математической модели и расчетов. Среди «моря» экспериментальных данных приходится отбирать лишь те, что получены в ходе хорошо спланированного эксперимента и сопровождаются подробным его описанием. Иногда поиски недостающих подробностей пре-

вращаются в настоящее «расследование», которое заканчивается тем, что обнаруживаются неточности, ошибки, а порой и следы лукавства.

В поисках экспериментальных работ по ДТР мы в хорошо известной монографии Я.С. Шифрина «Вопросы статистической теории антенн» [5] обнаружили ссылку «[28]» на книгу «Экспериментальное исследование дальнего тропосферного распространения ультракоротких волн» под ред. Я.С. Шифрина [6]. Обратились в центральную научную библиотеку Харькова – библиотеку им. В.Г. Короленко. Такой книги там (как выяснилось позднее, и в других общедоступных библиотеках) нет.

Но вот передо мной эта, компактная как конспект, книга из личной библиотеки Я.С. Шифрина. Даже при беглом знакомстве с книгой обращают на себя внимание объем, масштаб и продолжительность выполненных авторами исследований. Структура книги и исследуемые вопросы характерны скорее для теоретических, а не чисто экспериментальных работ. По существу, это монография, написанная по материалам собственных исследований авторов. Как же такая книга осталась «незамеченной»? Почему на нее практически нет ссылок?

Более внимательное чтение лишь усилило эти вопросы, тем более, что мы нашли как раз то, что давно искали. Точные, ясные формулировки, исчерпывающая информация о методике обработки первичных данных, точное описание всех условий эксперимента... И странное ощущение, что эти графики уже где-то встречались. Оказывается, часть экспериментальных данных из этой книги вошла в хорошо известную монографию [7], изданную годом позже, в 1965 году. И снова в обширном библиографическом материале к этой монографии книга [6] не упоминается. Все дело, оказывается, в надпечатке на обратной стороне ее обложки: «Продаже не подлежит».

Об истории написания этих монографий рассказывает Я.С. Шифрин в своих воспоминаниях [8]. Монография [6] обобщала результаты непрерывных исследований, которые проводились на кафедре антенно-фидерных устройств и распространения радиоволн в Артиллерийской радиотехнической академии (АРТА) с 1956 по 1962 год. В 1956–1957 и 1961–1962 годах исследования выполнялись совместно с Московским институтом радиоэлектроники АН СССР по постановлению правительства. Это были первые в СССР исследования ДТР такого масштаба. Основная цель – выяснить пути построения систем дальней связи на УКВ. План работы неоднократно уточнялся и дополнялся. В итоге программа работы оказалась значительно шире, чем в аналогичных исследованиях за рубежом.

Основные экспериментальные работы были выполнены в АРТА и завершены в 1962 году. Заканчивалась гигантская работа, связанная с обработкой «вручную» первичных данных в виде

<sup>1</sup> Л. Берс. Математические вопросы дозвуковой и околораздуковой газовой динамики/ Пер. с англ. под ред. А.В. Бицадзе. – М.: ИЛ, 1961, 208 с.

записей на бумажной ленте самописцев и на фотопленках шлейфового осциллографа. Накопился огромный экспериментальный материал, новый, интересный, изложить который можно только в книге. Подробнее о содержании и результатах этих исследований рассказывает Я.С. Шифрин в статье, публикуемой в этом же сборнике.

Попытка издать книгу в Москве натолкнулась на встречное предложение москвичей написать монографию совместно. Намечался авторский коллектив в составе 25 человек, в том числе и ряда весьма видных ученых. Закрепить авторство основных исполнителей экспериментальной, самой трудоемкой части работы, можно было единственным путем — написанием и изданием в кратчайшие сроки собственной книги в издательстве АРТА. И эта книга вышла в свет в 1964 году благодаря усилиям руководителя этой работы в АРТА Я.С. Шифрина. Теперь, как пишет Я.С. Шифрин, можно было взяться за совместную работу с москвичами.

Согласование разнородного материала, предоставленного 25 авторами, легло на плечи четырех редакторов: Б.А. Введенского, А.И. Калинина, М.А. Колосова и Я.С. Шифрина. Трудная работа закончилась изданием в 1965 году монографии «Дальнее тропосферное распространение УКВ». Эта книга хорошо известна всем, кто так или иначе занимался вопросами ДТР. В ней рассмотрен широкий круг вопросов — от обзора разных теорий до инженерного расчета тропосферных радиолиний. Однако изложение совокупности экспериментальных результатов исследования ДТР, столь логично и последовательно представленное ранее в работе [6], в книге [7] утратило свою цельность.

Теоретические и экспериментальные работы можно сравнить с художественными и документальными кинофильмами. Первые отражают взгляд автора на проблему, вторые представляют собой не стареющий документ. С этой точки зрения монография [6] настолько интересна, что мы, пользуясь ксерокопиями графиков, знаем, что пока сумели воспользоваться только частью содержащейся в них информации. Для нас особый интерес представляют экспериментальные данные о пространственной корреляции поля в месте расположения приемной антенны, ход зависимостей потерь усиления антенн от угла рассеяния и длины трассы ДТР, записи «мгновенных» диаграмм направленности, полученных при быстром вращении приемной антенны, и их интерпретация с точки зрения статистической теории антенн [5].

На кафедре радиоэлектронных систем ХНУРЭ почти 20 лет ведутся исследования, связанные с рассеянием радиоволн в тропосфере. Обратное рассеяние (угол рассеяния  $\theta \approx \pi$ ) изучается применительно к системам вертикального зондирования атмосферы. Рассеяние радиоволн при  $\theta \ll 1$  непосредственно касается ДТР. Рас-

сматриваются «прямые» задачи, связанные с расчетами рассеянных полей, и «обратные» — синтез пространственной структуры источников вторичного излучения по заданным характеристикам рассеянного поля. При исследовании ДТР главной задачей остается уточнение математических моделей тропосферы. Специфика решаемых нами задач такова, что во многих случаях мы опираемся на статистическую теорию антенн, развитую Я.С. Шифриным в уже упоминавшейся работе [5]. В частности, при теоретическом анализе структуры рассеянного поля в зоне дифракции Френеля мы воспользовались очень любопытным свойством поля совокупности случайных источников с малым радиусом корреляции. Критерий дальней зоны этих источников, как показал Я.С. Шифрин, выглядит так:

$$\frac{Ll}{2R} \ll \lambda. \quad (5)$$

Классический критерий, как известно, значительно жестче:

$$\frac{L^2}{2R} \ll \lambda.$$

В этих формулах  $l$  — радиус корреляции амплитудно-фазового распределения источников,  $L$  — линейный размер области, занятой источниками,  $\lambda$  — длина волны,  $R$  — расстояние от этих источников до точки наблюдения.

Исследование источников вторичного излучения при углах рассеяния  $\theta \approx \pi$  и  $\theta \ll 1$  показало, что в обоих случаях эквивалентные источники вторичных волн можно описать совокупностью линейных систем со случайными возмущениями, излучающих вдоль своей оси.

Применение критерия (5) при расчетах статистических характеристик рассеянных полей в зоне дифракции Френеля позволило существенно упростить аппарат анализа и использовать соотношения и теоремы, полученные в приближении дифракции Фраунгофера. В этом приближении была найдена связь между размером апертуры передающей антенны  $d$  и радиусом корреляции рассеянного поля  $\rho_k$ . Оказалось, что  $\rho_k \approx d$  в случае  $\theta \approx \pi$ , и приблизительно такую же зависимость следует ожидать при  $\theta \ll 1$ .

Самое любопытное здесь то, что такая связь ( $\rho_k \sim d$ ) была установлена экспериментально при исследовании поперечной корреляции поля за радиогоризонтом авторами монографии [6]. Трудно сказать, математическое или физическое понимание проблемы побудило авторов исследовать этот вопрос. Еще одно важное наблюдение, описанное в монографии, касается зависимости потерь усиления антенн от длины тропосферной трассы. Было установлено, что эта зависимость не монотонная, хотя на это не указывала ни одна из известных тогда теорий. В наших исследованиях и оценках спустя более 40 лет мы пришли к тем же выводам. Но для этого потребовалось более

строго рассмотреть рассеянное поле в зоне дифракции Френеля.

Значительное внимание в монографии уделено исследованию средних диаграмм направленности и экспериментальному измерению потерь усиления антенн в зависимости от разных факторов. Кроме важного прикладного значения, эти исследования позволяют получить информацию о характере амплитудно-фазового распределения поля в плоскости апертуры антенны. В наших исследованиях эта информация нужна для сравнительной оценки статистических характеристик полей, рассеянных под углами  $\theta \approx \pi$  и  $\theta \ll 1$ .

В системах вертикального зондирования атмосферы при  $\theta \approx \pi$  рассеянное поле имеет ярко выраженную пятнистую структуру («спекл-структуру»). Приемная антенна находится в существенно неоднородном поле. В случае, когда передающая и приемная антенны идентичны и расположены в непосредственной близости, потери усиления составляют около 5 дБ. По результатам измерений в работе [6], такие же численные значения потерь усиления наблюдаются на трассах ДТР. По-видимому, в обоих случаях статистические характеристики полей имеют много общего, хотя механизмы рассеяния различны.

Авторами монографии подробно анализировалось отличие экспериментально полученных законов распределения от рэлеевского, причем этот признак (параметр «М») позволял выявить преобладающий механизм рассеяния. Интересен вывод: «При ДТР механизм рассеяния на глобулярных неоднородностях не является довлеющим». Эти данные важны сейчас, когда мы пытаемся уточнить модели структуры тропосферы, с которыми связаны и относительно высокие уровни сигналов, и их статистические характеристики.

В наших попытках найти пространственную структуру источников вторичного излучения при ДТР для разных состояний тропосферы мы пользуемся очень интересными результатами исследований углового разнесенного приема и мгновенных диаграмм направленности приемной антенны.

Угловой разнесенный прием в работе [6] исследован применительно к системам тропосферной связи. Получен важный практический вывод: применение такого пути борьбы с замираниями целесообразно при приеме слабых сигналов. Чтобы получить такой результат, пришлось проделать большую и сложную работу: спроектировать и изготовить двухканальный раздвижной первичный облучатель, исследовать дифракционную картину в фокальной плоскости антенны и угловую корреляцию принимаемых сигналов в реальных условиях тропосферной связи. А эти данные существенны для уточнения математической модели области рассеяния.

Отдельный раздел монографии посвящен исследованиям «мгновенных» диаграмм направ-

ленности, полученных при быстром вращении приемной антенны в горизонтальной плоскости, в условиях закрытых тропосферных трасс распространения радиоволн. Серии записей диаграмм, снятые с интервалами 10 с и 20 с, содержат информацию и о пространственной структуре рассеивающей среды, и о ее динамике. Приведены результаты обработки около 1000 диаграмм, записанных на фотопленках шлейфового осциллографа, и их анализ с точки зрения статистической теории антенн.

Сохранившаяся часть фотоснимков, отпечатанных с этих пленок, сейчас любезно предоставлена нам для работы Я.С. Шифриным. Мы пытаемся получить из этих записей дополнительную информацию о структуре тропосферы в области, где происходит рассеяние волн за радиогоризонт. Задача очень сложна, и трудно предсказать ожидаемый «выход». Но первые результаты показали, что она не безнадежна, и может быть, нам удастся обнаружить следы тех «волнообразных слоев», о которых говорил Гессинг [4].

Мы упоминаем здесь о наших работах лишь для того, чтобы подчеркнуть, насколько актуальны сегодня затронутые в монографии вопросы. Ценность исследований связана и с тем, что многие эксперименты ставились на основе теоретического подхода к проблеме. До выхода в свет монографии [6] уже были опубликованы теоретические работы Я.С. Шифрина, освещающие некоторые вопросы статистической теории антенн. Влияние этих работ прослеживается и в экспериментальных исследованиях ДТР. Поэтому полученные в работе [6] экспериментальные результаты подсказывают постановку новых теоретических задач и помогают уточнить исходные данные для их решения.

К этим коротким заметкам нужно добавить, что читатели книги (кому удалось ее прочесть) благодарны авторам монографии за то, что интереснейший экспериментальный материал не «ушел» пылиться в архивы, и что книга написана для читателя, что экспериментальный материал надежный и добротный, что техника измерений и методика обработки данных описаны с исчерпывающей точностью и полнотой.

В 2009 году исполнилось 45 лет выхода в свет этой первой монографии по ДТР, написанной по материалам собственных исследований авторов. В ней содержатся обобщенные экспериментальные данные достаточные для проектирования радиолиний тропосферной связи. Эта цель работы достигнута.

Но на ее страницах, в таблицах и графиках хранится еще много объективной информации, ожидающей дальнейшего анализа. Во введении к монографии сформулирована одна из целей – получение результатов, необходимых «для продвижения вперед теоретических исследований, для создания более совершенной, чем существующие, теории ДТР». И эта цель также достигнута.

Книга сегодня востребована и будет нужна и полезна до тех пор, пока продолжают исследования распространения волн в тропосфере.

*Эти очерки посвящаются 90-летию Якова Соломоновича Шифрина, выдающегося ученого и педагога, основоположника статистической теории антенн, вклад которого в развитие теории антенн и в исследования дальнего тропосферного распространения радиоволн трудно переоценить. Для нас большая и редкая удача – иметь возможность в любое время обратиться к Якову Соломоновичу с вопросом или обсудить результаты наших работ. Несмотря на высокий научный ранг Якова Соломоновича, общаться с ним легко и просто. Такие встречи и беседы всегда продуктивны и интересны.*

*Внимание, с которым Я.С. относится к нашим работам и нашим трудностям, вызывает чувство искренней благодарности вместе с удивлением и неловкостью. Удивительно, сколько времени уделяет Я.С. анализу и подробному разбору наших работ. Его безусловная доброжелательность и готовность помочь естественным образом совмещаются с требовательностью и принципиальностью в научных вопросах. Никакая ошибка или неточность не ускользает из поля зрения Якова Соломоновича. Некоторые его замечания и советы можно повторять как афоризмы. \*)*

*Я приношу подборки статей и редкой литературы, подготовленные для нас Яковом Соломоновичем, подробно рассказываю о наших беседах своим помощникам – аспирантам. Лучшего примера отношения к научной работе и внимания к работе коллег они не найдут.*

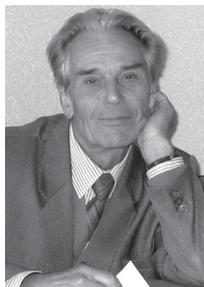
*Мы сердечно поздравляем Якова Соломоновича с юбилеем, желаем здоровья и долгих лет столь же активной научной деятельности.*

\*) Подборка цитат и афоризмов будет опубликована в следующем юбилейном выпуске журнала.

#### Литература.

- [1] *M. Katzin, R.W. Bauchman, W. Binnian.* 3- and 9-centimeter propagation in low ocean ducts.// Proc. IRE, v.35, 1949. p.891.
- [2] *J.P. Day, L.G. Trolese.* Propagation of short radio waves over desert terrain// Proc. IRE, v.38, 1950. p.165.
- [3] *H.G. Booker, W.E. Gordon.* A Theory of Radio Scattering in the Troposphere// Proc. IRE, 38, 1950, №4, P.401.
- [4] *D.T. Gjessing.* Radio Physical Aspects of Irregular Structure in the Atmosphere// Атмосферная турбулентность и распространение радиоволн. Тр. Междунар. коллоквиума. М.: Наука, 1967. С.226.
- [5] *Шифрин Я.С.* Вопросы статистической теории антенн. М.: Сов.радио, 1970. 384с.
- [6] *Шифрин Я.С., Черный Ф.Б., Тихомиров Ю.А., Тарасов В.А., Трашков П.С.* Экспериментальное исследование дальнего тропосферного распространения ультракоротких радиоволн. Харьков: Изд. АРТА, 1964. 103 с.
- [7] Дальнее тропосферное распространение ультракоротких радиоволн./ под ред. Введенского Б.А., Колосова М.А., Калинина А.Н., Шифрина Я.С. М.: «Сов.радио», 1965. 416 с.
- [8] *Шифрин Я.С.* Как мы жили. – Харьков: ИПП «Контраст», 2004. 512 с.

Поступила в редколлегию 12.02.2010.



**Петров Валерий Аркадиевич**, кандидат физико-математических наук, профессор университета, профессор кафедры радиоэлектронных систем Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: рассеяние радиоволн в тропосфере; цифровая обработка сигналов.