

РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОТДЕЛЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ РАДИОЛОКАЦИИ ИРЭ НАН УКРАИНЫ

Г. И. Хлопов, С. И. Хоменко

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины,
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: ire@ire.kharkov.ua*

В работе отражена деятельность отдела физических основ радиолокации в период 1955-2008 гг. Показан процесс развития отдела и представлены наиболее значимые научные результаты фундаментальных исследований в области загоризонтного распространения радиоволн и систем загоризонтной радиолокации в диапазоне от декаметровых радиоволн до СВЧ диапазона, диагностики условий распространения радиоволн с использованием малогабаритных рефрактометров и радиоизлучения космических объектов, изучения спектральных характеристик обратного рассеяния от морской поверхности надводных и воздушных объектов, а также когерентной радиолокации в коротковолновой части миллиметрового диапазона. Кроме того, приведены основные результаты прикладных исследований, связанных с созданием радиолокационных комплексов предупреждения опасных явлений природы, датчиков для систем охранной сигнализации и контроля выброса вредных веществ в производстве. Ил. 8. Библиогр.: 25 назв.

Ключевые слова: загоризонтная радиолокация, распространение радиоволн, морская поверхность, надводные, воздушные объекты, когерентная радиолокация.

История отдела физических основ радиолокации ИРЭ НАН Украины тесно связана с развитием радиолокации в СССР. Работы в этой области были начаты в 1937 г. в лаборатории электромагнитных колебаний (ЛЭМК), руководимой А. А. Слуцкиным, в Украинском физико-техническом институте (УФТИ). Уже в 1938 г. были проведены испытания первого варианта радиолокационной установки «Зенит» – одного из первых в мире трехкоординатных радиолокаторов дециметрового диапазона. В сентябре-октябре 1941 г. усовершенствованная установка прошла испытания в боевых условиях в системе ПВО г. Москвы. Одноантенный вариант радиолокатора «Рубин», разработанный коллективом ЛЭМК в эвакуации в г. Бухара в 1944-1945 гг., использовался на северном участке советско-германского фронта в районе г. Мурманск для обнаружения самолетов и кораблей противника. Сразу после окончания войны были начаты работы по исследованию условий распространения декаметровых (дкм) и гектометровых радиоволн над поверхностью моря. В короткие сроки были созданы и успешно использовались в исследованиях уникальные макеты загоризонтных РЛС [1, 2] на длинах волн 10,5; 23; 53; 115 и 240 м.

Результаты исследований показали наличие интенсивных помех от взволнованной поверхности, в связи с чем радиолокационная наблюдаемость морских целей на волнах 10, 23 и 53 м была недостаточно высокой, поэтому основные работы проводились в диапазоне длин волн 115 и 220 м. При этом корабль средних размеров можно было наблюдать до расстояния 100 км при волнении не более двух баллов, что существенно превышало дальность обнаружения надводных объектов сантиметровыми и деци-

метровыми локаторами. За указанный цикл работ группа сотрудников отдела была отмечена в 1952 г. Сталинской премией СССР (С. Я. Брауде, И. Е. Островский, Ф. С. Санин, И. С. Тургенев, Я. Л. Шамфаров) [1].

Работы по исследованию распространения радиоволн в широком диапазоне частот, разработке и созданию приборов и систем см и мм диапазонов (магнетронов, клистронов, клинотронов, антенно-волноводной и измерительной техники) выполнялись согласно Постановлениям правительства СССР и обусловили широкую научную известность, творческий рост и стабильное финансирование коллективам исполнителей.

Логическим завершением этого процесса явилось Постановление Совета Министров УССР от 22 сентября 1955 г. «Об организации Института радиофизики и электроники на базе радиофизических отделов и экспериментальных мастерских УФТИ». В штатном расписании вновь созданного Института было семь лабораторий и два отдела, среди которых и лаборатория радиолокации с численным составом 10 человек: заведующий лабораторией И. С. Тургенев; с. н. с. А. И. Мень; главный механик В. Ф. Шульга; инженер В. Б. Разказовский; механик В. И. Афанасьев. После создания в составе Института радиофизики и электроники (ИРЭ) структурной лаборатории радиолокации начали быстро увеличиваться объемы исследований и круг решаемых задач, которые по-прежнему диктовались интенсивным развитием радиотехнических систем различного назначения, использующих разные диапазоны волн (от дкм до мм) и работающих как над морем, так и над сушей. В связи с этим в лаборатории радиолокации работы выполнялись по следующим направлениям:

- радиолокация в дкм диапазоне (И. С. Тургенев);
- влияние распространения радиоволн мм диапазона над поверхностью Земли на точность измерения координат (В. Б. Разказовский);
- определение местоположения источника излучения сантиметровых радиоволн на поверхности моря разностно-фазовым методом (А. В. Мень);
- точность пеленгования источников излучения в метровом и сантиметровом диапазонах (В. Ф. Шульга).

Новым крупным успехом лаборатории можно считать выполнение фундаментальной НИР «Акула», в которой решались задачи изучения особенностей распространения радиоволн на морских открытых акваториях в северных и южных широтах Атлантического океана (И. С. Тургенев, В. Ф. Шульга, В. Ю. Рязанцев, Ф. В. Кивва). Постановка работ в методическом плане была настолько продуманной, а экспериментальные исследования проведены настолько чисто, что полученные результаты не утратили своей актуальности и в настоящее время.

В частности, были исследованы множители ослабления поля, характерные для средних и северных широт Мирового океана на дистанциях до 300-350 км и на трех длинах волн 3, 10 и 35 см. На дальности порядка двух – трех радиогоризонтов, где поле определяется дифракцией на сферической проводящей поверхности, наблюдались существенные расхождения между расчетными данными по Фоку [2] и измеренными значениями. Эта разница возрастала по мере укорочения длины волны, что позволило сделать вывод о возможности обнаружения надводных объектов на указанных дальностях, по крайней мере, в диапазоне длин волн 2-3 см [3].

На рис. 1 приведены зависимости множителя ослабления поля на «открытых» морских трассах в диапазонах длин волн 35, 10 и 3 см (НИР «Акула», 1960-1961 гг.) в различных районах Атлантического океана. Поскольку в каждом из районов условия измерений в значительной мере отличались, то на каждой из длин волн строились усредненные дистанционные зависимости отдельно для южных широт (кривая 1) и для северных широт (кривая 2) [3].

Проведенные исследования также показали и слабые места проведенных измерений – отсутствие надежных данных о структуре тропосферы на трассе распространения. Поэтому была поставлена задача создания точного прибора – рефрактометра для оценки профиля коэффициента преломления по высоте $N(h)$. В 1966 г. лаборатория радиолокации была преобразована в отдел радиолокации и навигации (№ 31), и в его коллектив влились молодые сотрудники – выпускники радиотехнического

факультета Харьковского политехнического института (Ф. В. Кивва, В. Б. Сеницкий). За разработку рефрактометра взялся В. Ф. Шульга с небольшим коллективом (И. Д. Гонтарь и М. В. Фадеев). В кратчайшие сроки, меньше чем за год, был разработан, изготовлен и успешно прошел испытания один из первых в СССР приборов такого класса, что позволило провести серию опытов по измерению профиля $N(h)$ с борта самолета, на морских и сухопутных трассах [4]. В результате по материалам выполненных работ (НИР «Камин», «Жасмин», «Комета», «Акула») сотрудниками отдела были успешно защищены кандидатские диссертации, в том числе В. Ф. Шульгой, В. Б. Разказовским и В. Ю. Рязанцевым.

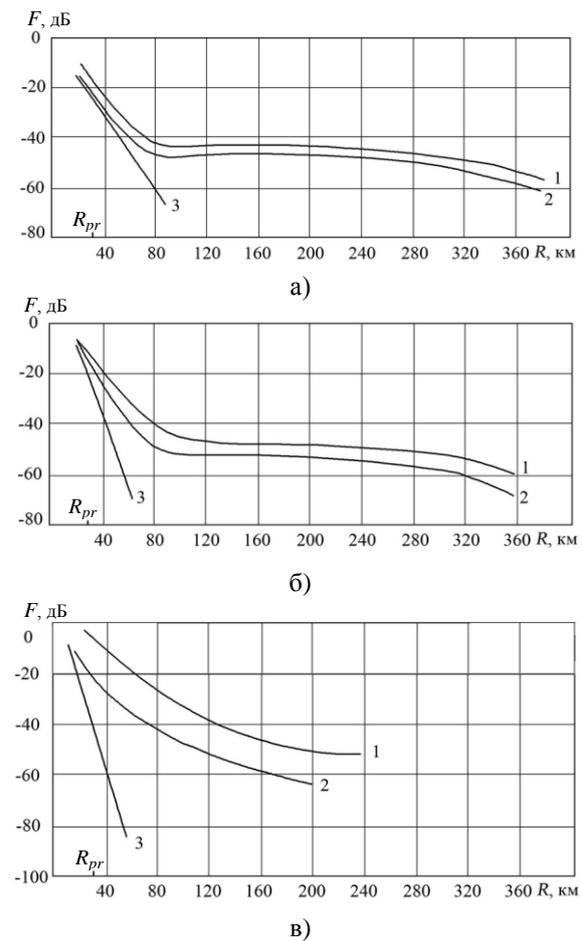


Рис. 1. Множители ослабления поля на открытых морских трассах: а) – $\lambda=35$ см; б) – $\lambda=10$ см; в) – $\lambda=3$ см; 1 – южные широты Атлантики; 2 – северные широты Атлантики; 3 – расчет по дифракционным формулам

В связи с увеличением объема работ, выполняемых согласно Постановлениям правительства СССР, в 1968 г. в отделе были образованы две неструктурные лаборатории, одной из которых руководил В. Б. Разказовский, а другой – В. Ф. Шульга.

В 1961-1971 гг. отдел пополнился большим количеством новых, в том числе молодых сотрудников (С. И. Хоменко, А. А. Савенко, Р. С. Шубова, Г. П. Кулемин, А. Ф. Величко, Г. В. Лысов, В. А. Кортунов). В эти годы в отделе выполнялись ряд НИР согласно постановлениям СМ СССР, наиболее крупные из которых (НИР «Радан», «Высота», «Орех», «Туллома», «Дикобраз») были направлены на изучение флуктуации фазы в турбулентной атмосфере, помех от взволнованной поверхности моря, береговой черты, исследование спектральных характеристик помех и целей, в том числе малоразмерных и низколетящих.

В ходе выполнения НИР «Орех» (научный руководитель В. Ю. Рязанцев) были созданы высокопотенциальные измерительные макеты РЛС в диапазонах длин волн 2 м; 30, 10 и 3 см. Использование оригинального аналогового анализатора спектра на кварцевых фильтрах (несущая частота 10 Гц при полосе $\Delta f=2$ Гц) позволило анализировать спектры до уровней 40-50 дБ [5]. На рис. 2 представлены усредненные распределения спектральной плотности в зависимости от высоты морских волн на четырех длинах волн (3 и 30 см, 10 и 2 м), где просматривается ряд характерных закономерностей в поведении спектральных распределений сигналов в зависимости от интенсивности морского волнения. Так, на всех длинах волн прослеживается тенденция к расширению спектров с увеличением высоты морской волны на сантиметровых волнах (3 и 10 см), отчетливо наблюдается смещение максимума спектральной плотности в сторону больших частот по мере роста высоты волн. Небольшое смещение имеет место и на длинах волн 30 см и 2 м (3 и 0,5 Гц соответственно). Отмечен также ряд интересных закономерностей в законах распределения спектральной плотности отраженных от морской поверхности сигналов, в том числе:

- зависимость ширины спектра от скорости ветра в районе измерения;
- зависимость спектральной плотности от угла скольжения, особенно при углах менее одного градуса;
- зависимость спектральной плотности от угла облучения по отношению к главному направлению бега волн; влияние поляризации излучения на спектральные характеристики отраженных сигналов.

Результаты этих исследований широко использовались предприятиями Министерства судостроительной промышленности «Квант», «Альтаир», «Салют», а также НПО «Стрела» Министерства радиотехнической промышленности СССР (г. Тула) и легли в основу диссертационных работ сотрудников отдела Ф. В. Киввы, Г. П. Кулемина, А. Ф. Величко, Н. А. Дорфмана и Г. В. Лысова.

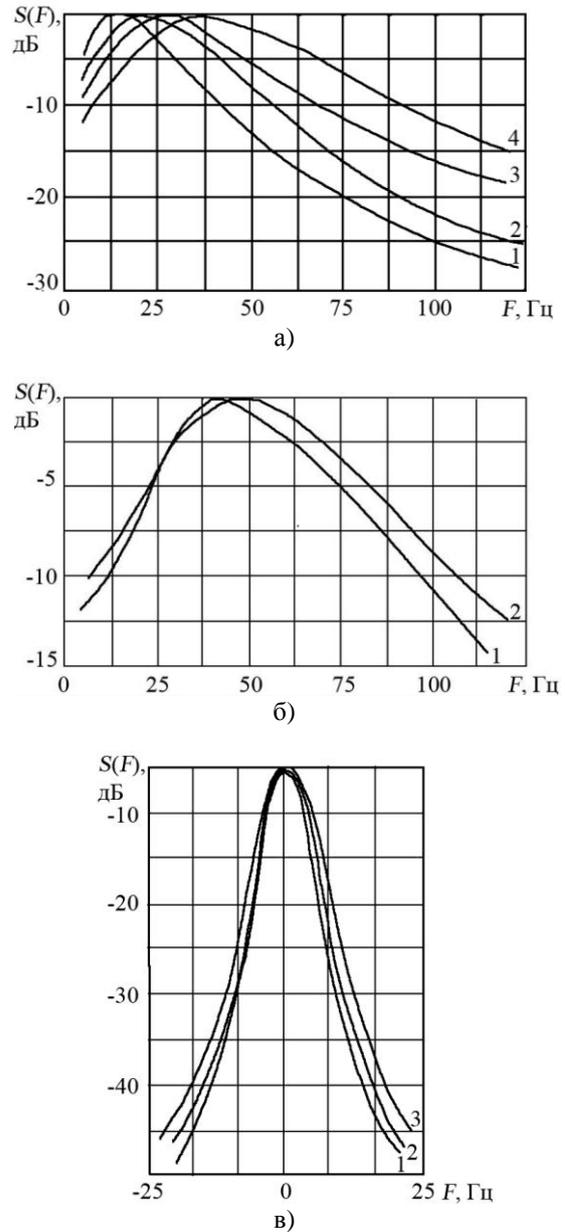


Рис. 2. Влияние силы волнения на форму спектров рассеянных сигналов. Поляризация излучения вертикальная: а) – $\lambda=10$ см; $Hв=0,6$ м; $0,6-1,2$ м; $1,2-1,8$ м; $1,8-4$ м (кривые 1-4); б) – $\lambda=30$ см; $Hв=0,8-1$ м; $1-1,2$ м (кривые 1, 2); в) – $\lambda=30$ см; $Hв=1,5, 2, 1$ и $3,25$ м (кривые 1-3); г) – $\lambda=2$ м; $Hв=0,3-1$ м; $1-2$ м (кривые 1, 2)

В 1972-1982 гг. отдел продолжил работы по созданию систем загоризонтного обнаружения объектов в дкм и СВЧ диапазонах, изучению особенностей спектральных характеристик помех и целей, обнаружению и пеленгации малоразмерных объектов [6-8]. В 1975 г. неструктурная лаборатория В. Б. Разказовского, которая насчитывала 15 человек, была преобразована в структурную самостоятельную лабораторию.

Обширный объем выполняемых отделом экспедиционных работ и масштабность исследований (НИР «Чад», «Челн», «Чиж») способство-

вали притоку молодых и энергичных сотрудников (В. А. Кабанов, И. И. Пикулик, Г. М. Моргун). Некоторые сотрудники отдела, став высококвалифицированными специалистами, впоследствии выросли до уровня руководителей подразделений (Г. В. Лысов – главный инженер СКТБ, В. Ю. Рязанцев – главный конструктор СКТБ, Ф. В. Кивва – заместитель директора Института по научной работе) и возглавили свои научные направления и коллективы. Особенно масштабные измерения и весомые результаты были получены при проведении НИР «Чад» (научный руководитель И. С. Турганев). В работе также участвовали сотрудники других отделов и лабораторий (А. Д. Розенберг, Г. Г. Майков, В. Б. Разказовский, Г. П. Кулемин, Е. И. Мирошниченко). Решалась важная задача загоризонтного обнаружения летательных и надводных аппаратов как за счет вторичных эффектов, сопровождающих их движение, так и за счет особенностей распространения радиоволн в различных частотных диапазонах, в частности, путем использования коротковолновой части декаметрового диапазона. Эти работы нашли дальнейшее развитие в работах отдела (НИР «Тракторка», «Акватория», «Волна» и др.), а также были реализованы в РЛС поверхностной волны, разработанной и изготовленной НПО НИИ ДАР (г. Москва).

В СВЧ диапазоне использовались особенности распространения радиоволн в приводном слое ($\lambda = 3...0,8$ см). Было установлено, что использование радиоволн 3- и 2-см диапазонов позволяет обеспечивать дальность действия порядка 1,5...2 радиогоризонта при потенциале РЛС в 215-220 дБ/Вт. Кроме того, проводились исследования по обнаружению летательных аппаратов по инверсионному следу, который сопровождал их полет. В результате исследований определен требуемый потенциал для обнаружения, дальности сопровождения, а также оптимальный частотный диапазон ($\lambda \approx 10$ см) (В. Б. Разказовский, Г. П. Кулемин, Е. И. Мирошниченко).

Также были начаты исследования в совершенно новом направлении – определение местоположения летательного аппарата по опережающей звуковой волне, распространяющейся в морской воде (А. Д. Розенберг, Г. Г. Майков). Проведенные теоретические оценки и натурные эксперименты по определению шумов моря показали возможность использования данного механизма для загоризонтного обнаружения летательных аппаратов, движущихся на малой высоте.

Опыт применения радиолокационных средств в локальных войнах, в том числе на Фолклендских островах и в арабо-израильском конфликте, показал возросшие требования к радиотехническим системам (РТС). Существенно повысилась их роль в ходе проведения боевых

операций как на море, так и на суше. Это потребовало более тщательного изучения спектральных характеристик помех и целей, значительного расширения динамического диапазона РТС, решения задач загоризонтного обнаружения объектов и их идентификации на новом уровне [6-8].

При этом загоризонтное обнаружение целей в СВЧ диапазоне предполагало также решение проблемы оперативного контроля прохождения сигналов на трассе распространения, т. е. диагностики условий распространения радиоволн. Для этого были предложены и прошли апробацию несколько вариантов контроля параметров тропосферы [8-10]. В частности, на основании накопленного опыта в создании рефрактометров сотрудником отдела В. А. Кабановым был разработан малогабаритный рефрактометр весом до 1,5 кг, который мог подниматься с помощью привязного шара-зонда [9, 10]. Более ранний вариант этого рефрактометра использовался в измерениях с помощью вертолета по методике, предложенной И. С. Турганевым и В. А. Кабановым. Рефрактометр подвешивался под вертолетом на фале длиной около 15 м, а измерения проводились при определенной скорости полета. Это позволило исключить влияние потока от винтов на показания прибора и обеспечить непрерывное зондирование атмосферы практически с нулевых высот до нескольких тысяч метров [9-11].

В процессе выполнения НИР «Позиция», заданной Постановлением СМ СССР, была накоплена трехгодичная всесезонная статистика высотного профиля коэффициента преломления – $N(h)$ над Черным морем, предложены другие методы определения условий прохождения радиосигналов. В частности, по предложению И. С. Турганева было создано новое направление исследований по оперативной диагностике условий распространения с помощью приема радиозлучения ИСЗ (исполнители В. Б. Синицкий, С. И. Хоменко, Г. А. Алексеев и др.) [12, 13].

В процессе выполнения НИР «Позиция» были разработаны и изготовлены достаточно совершенные высокопотенциальные измерительные макеты когерентных РЛС на волне 30 и 4 см. Использование малошумящих усилительных клистронов при работе в непрерывном и квазинепрерывном режимах излучения, а также применение цифровых анализаторов спектров (С4-54), СА 3348 фирмы Брюль и Кьер позволило исследовать спектральные характеристики сигналов, отраженных от морской поверхности, до уровней 60-70 дБ. Кроме того, тройное когерентное преобразование частоты в принимающем устройстве позволяло анализировать спектры отраженных от морской поверхности сигналов без свертки и искажения формы спектров. Как результат, были измерены с высокой достоверностью не

только первый и второй момент доплеровского спектра, но также моменты более высоких порядков, в том числе эксцесс и асимметрия.

На рис. 3 приведены реализации текущего и усредненного спектров на волне 4 см, для которых существенным является время наблюдения. В таких спектрах огибающая не только изрезана, но также может иметь несколько максимумов. В то же время при усреднении по многим реализациям (на волне 4 см достаточно 16...32 реализаций) огибающая становится гладкой [5].

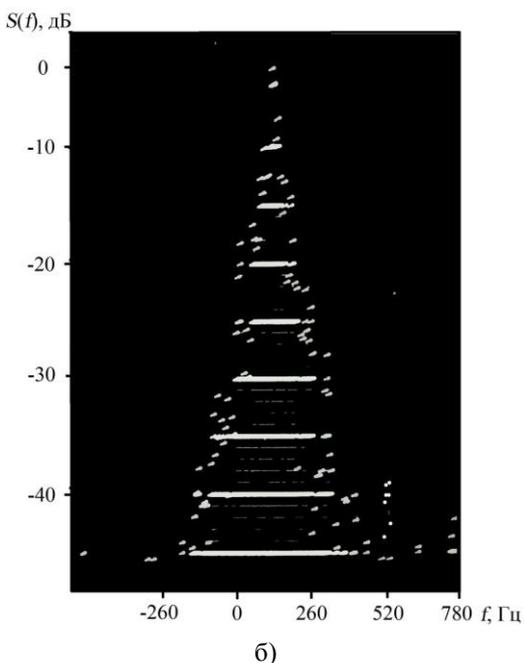
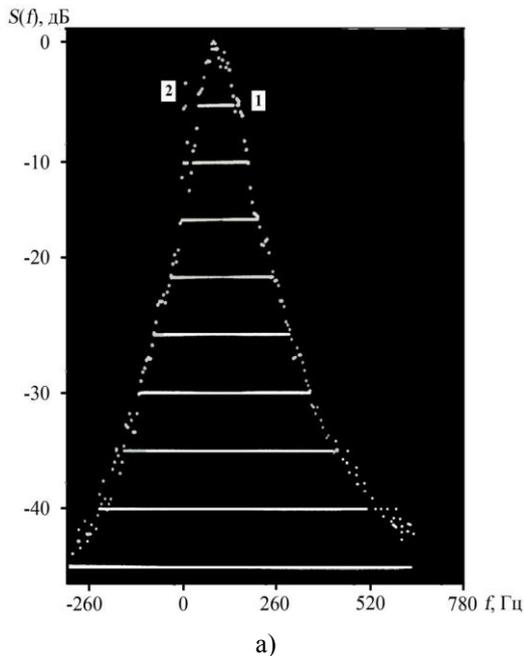


Рис. 3. Усредненный и текущий спектры эхо-сигналов от морской поверхности на волне 4 см

На волне 35 см потенциал измерительного макета и динамический диапазон анализатора спектра 3348 позволял регистрировать спектральное распределение сигналов до уровня 60...70 дБ относительно максимума, причем аналогичных данных авторы работы не встречали ни в отечественной, ни зарубежной литературе. Такие спектры хорошо аппроксимируются функцией

$$S(f) = \frac{1}{1 + \left(\frac{f - f_0}{b}\right)^n}, \quad (1)$$

где f_0 – абсцисса максимума спектральной плотности; b – полуширина спектра на уровне 0,5; f – текущее значение частоты. При этом показатель степени n для аппроксимирующей кривой изменяется в диапазоне от 2 до 4 в зависимости от состояния взволнованной поверхности моря, длины волны и направления облучения. Следует также отметить, что левая и правая ветвь спектра имеют разный наклон и скорость убывания аппроксимирующей функции.

Следует отметить еще одну особенность в текущих спектрах эхо-сигналов от морской поверхности. На скатах спектров и вне его энергонесущей части наблюдались хаотически перемещающиеся дискретные линии, напоминающие отражения от малоразмерных целей. Были сделаны следующие предположения об источниках таких отражений [5]:

- биологические объекты (птицы, в частности чайки);
- отдельные гребни волн на морской поверхности;
- неоднородности тропосферы.

Потребовалось значительное время и большое количество натуральных опытов, чтобы идентифицировать каждый из источников и сделать вывод о том, что основная причина появления дискретных отражений в доплеровском спектре обусловлена неоднородностями тропосферы значительных размеров и с большими перепадами коэффициента преломления N_0 . Это позволило проанализировать один из труднообъяснимых эффектов, наблюдавшихся в эксперименте: наличие двух равных по амплитуде, но противоположных по знаку дискретных линий (ДЛ). Скорость перемещения ДЛ доходит до 30 м/с при отсутствии ветра и волнения на море. Можно предположить, что отражения происходят от вихрей, часто наблюдавшихся на море, в которых радиальные скорости вращения и вертикального подъема воздушного потока превышают 30 м/с. Это нашло подтверждение и в последующих экспериментах на высокопотенциальной РЛС «Фрегат МА», которая обеспечивает значительное разрешение на дальности (до 15 м за счет сжатия импульса) и

формирует до пяти лучей диаграммы антенны в вертикальной плоскости.

Была предложена и прошла апробацию (В. А. Кабанов) методика оценки прохождения сигналов на трассе распространения по радиояростной температуре тропосферы. По результатам этих исследований и измерениям высотного профиля $N(h)$ с помощью рефрактометра В. А. Кабановым была успешно защищена кандидатская диссертация. По материалам работ, изучавших особенности распространения радиоволн ММД над сушей и морем, также были защищены кандидатские диссертации В. Б. Синицким и В. А. Кортуновым.

Отделом были выполнены также пионерские работы по созданию макета РЛС поверхностной волны в коротковолновой части дкм диапазона (рис. 4). Группой сотрудников (И. И. Пикублик, Г. М. Моргун, С. Б. Кашеев, П. А. Мельяновский, Б. М. Курко, А. Н. Тисцов) под руководством И. С. Тургенева в Крыму в районе г. Судак был развернут трехчастотный макет РЛС дкм диапазона (6,5; 13 и 26 МГц) [14-16].

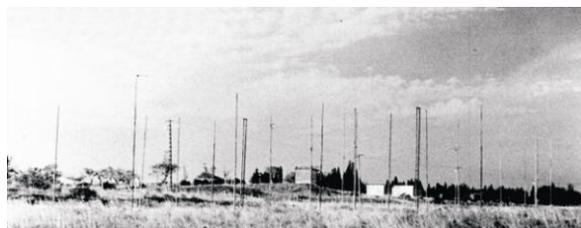


Рис. 4. Антенное поле 3-х частотного дкм локатора поверхностной волны

Одной из наиболее информативных характеристик, которые удавалось получить при помощи дкм РЛС, являются доплеровские спектры, характеризующие распределение энергии отраженных сигналов по оси частот. Анализатор спектра СК4-72, установленный на выходе РЛС, позволял в реальном масштабе времени получить мгновенные спектры и производить их усреднение в одной или нескольких ячейках дальности. Одной из характерных особенностей доплеровского спектра является наличие двух узких линий, которые доминируют при любом состоянии морской поверхности. Расположение этих линий на оси доплеровских частот достаточно строго подчиняется соотношению:

$$F_u = \pm \sqrt{\frac{g}{\lambda\pi}}, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения; λ – длина радиоволны.

На рис. 5 представлен спектр одной из ста секундных реализаций на волне 6,4 МГц [14]. Каждая из этих линий спектра флуктуирует, но их

усредненное отношение достаточно стабильно и зависит от направления движения морских волн. При наличии поверхностных течений обе линии смещаются в одну сторону относительно нормированной нулевой частоты на величину Δ . Кроме линий первого порядка в доплеровском спектре также присутствуют линии высших порядков, интенсивность которых растет по мере увеличения волнения, а отношение линий первого и второго порядков позволяет оценивать высоту морских волн (см. рис. 5).

В результате проведенных натурных экспериментов на указанных макетах РЛС сделан вывод – помимо загоризонтного обнаружения объектов с их помощью можно дистанционно оценивать следующие параметры морского волнения:

- направление движения морских волн;
- характеристики поверхностных течений;
- интенсивность волнения;
- скорость ветра.

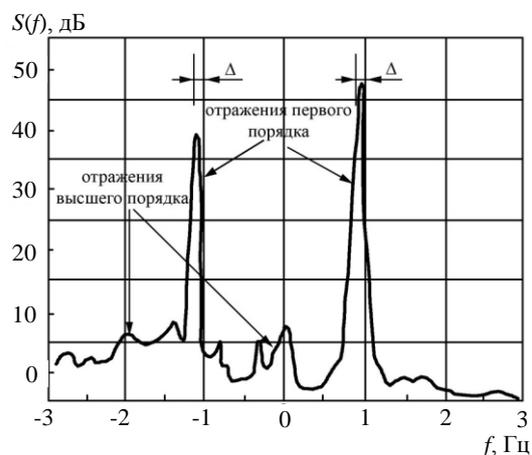


Рис. 5. Усредненный спектр на волне 6,4 МГц, $T_{ус} = 100$ с, Δ – смещение спектра за счет поверхностных течений

Также было показано [15], что в дкм диапазоне, где антенны РЛС электрически связаны через сеть заземления с поверхностью моря, в первую очередь ощущается влияние участков моря, непосредственно примыкающих к антенне. Это влияние наиболее сильно сказывается на «крыльях» радиолокационного спектра.

Прошли апробацию и показали свою работоспособность несколько вариантов построения РЛС: работа приемо-передатчика на одну антенну с разрядником, пространственный разнос антенн, а также работа на две антенны с подсветкой через ионосферу. По результатам работ, которые выполнялись в рамках НИР «Траектория» и «Акватория», С. Б. Кашеев успешно защитил кандидатскую диссертацию, сформулировал требования к антенно-фидерному устройству, структуре построения приемно-передающего устройства, а также к системе обработки сигналов [14-18].

В разные годы с экспериментаторами отдела активно сотрудничали теоретики института: Ф. Г. Басс, П. В. Блюх, В. Г. Сеницын, А. С. Брюховецкий и Г. А. Алексеев, что способствовало более полному пониманию изучаемых явлений. В 1983 г. И. С. Тургеневым была успешно защищена докторская диссертация, которая подвела итог многолетних работ отдела над проблемой обнаружения объектов, скрытых кривизной земли. Были предложены варианты решения этой задачи с помощью дкм радиолокации, СВЧ загоризонтной радиолокации, а также обнаружения аэродинамических объектов по возмущениям в тропосфере и другим эффектам.

В 1976-1982 гг. сотрудники отдела С. И. Хоменко и М. В. Фадеев принимали активное участие в выполнении фундаментальной работы по созданию радиоклиматического атласа Мирового океана, выполняемой вновь созданным специальным конструкторско-технологическим бюро (СКТБ) совместно с институтом [19]. Создание СКТБ ИРЭ положительно отразилось на работе отдела, с которым теперь дополнительно работал коллектив как опытных, так и молодых сотрудников (В. И. Зельдис, Г. Г. Майков, М. И. Головкин, П. К. Тютюник, В. Г. Гутник). В этот период по Постановлениям СМ СССР и ЦК КПСС были выполнены крупные НИР, в том числе: «Шлюп», «Черемуха», «Эффект».

В процессе выполнения НИР «Шлюп» решалась задача выделения малоразмерных быстролетающих объектов на малых высотах и на фоне интенсивного волнения, береговой черты, а также судов с большой ЭПР [20]. Так как натурные эксперименты с запуском таких объектов весьма затруднительны и дорогостоящи, то была предложена методика с использованием оригинальных доплеровских ответчиков, которые представляли собой рупор с известной ЭПР, нагруженный на четвертьволновую секцию с *p-i-n*-переключателем. Ответчик имел автономное питание с высокостабильным генератором в качестве модулятора, а они располагались на различных высотах на дистанции 7,22 и 60 км. При этом кроме решения задачи выделения малоразмерных объектов на фоне интенсивных помех от моря и береговой черты появилась возможность изучения особенностей сигналов при различных по протяженности трассах и высотах корреспондирующих пунктов. Каждый из ответчиков имел свою частоту модуляции, поэтому на индикаторе анализатора спектра одновременно регистрировались сразу 3-5 сигналов, характеризующих структуру поля по высоте и изменения его во времени. При этом сохранялась полная идентичность пяти каналов во времени. Частоты модуляции ответчиков, имитирующих доплеровские цели, выбирались на частотной оси с интервалом в 200...300 Гц и в соответствии с высотой располо-

жения ответчиков. Это давало возможность индцировать мгновенную «высотную зависимость» на экране оконечного устройства – спектраллизатора (С4-54, СК4-72 и др.).

Такая методика исследования поведения сигналов на трассе распространения открыла новые возможности для:

- оперативного исследования разных по дистанции трасс, включая и загоризонтную трассу (60 км);
- изучения амплитудной зависимости поведения сигнала на морских и сухопутных трассах;
- сравнения уровней сигнала по средним и мгновенным значениям;
- проведения суточных и сезонных измерений без больших затрат.

Высотная структура поля, как выяснилось в процессе опытов, наиболее полно определяется не стационарными ответчиками, установленными на разных высотах, а его перемещением от минимальной до максимальной высоты за короткое время, что позволяет описывать высотную структуру поля с высокой точностью.

Пример записи высотной структуры поля на I и II трассах приведен на рис. 6. Представленные высотные зависимости характерны для различных типов докритической рефракции (95 % случаев от общего числа наблюдений), и только в 5 % случаев фиксировались условия волноводно-го распространения на трассе II.

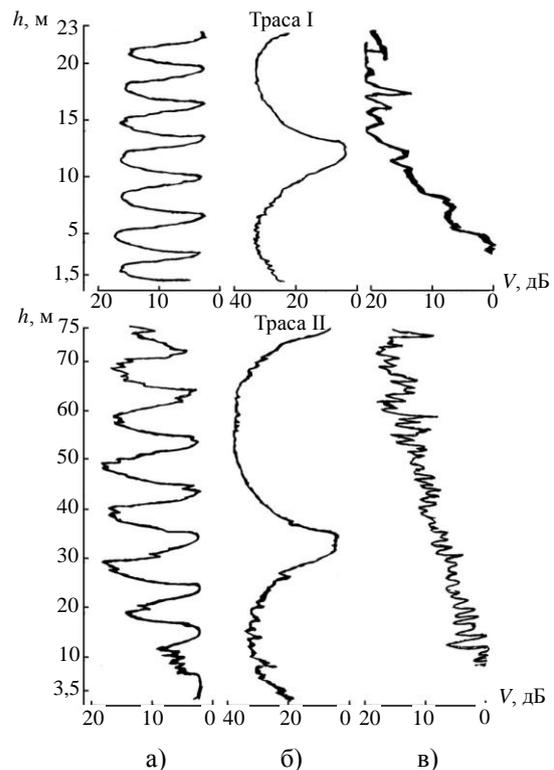


Рис. 6. Примеры записи высотной структуры поля на I и II трассах. Трасса I – $R=8$ км, трасса II – $R=22$ км: а) – $\lambda=8$ мм; б) – $\lambda=4$ см; в) – $\lambda=35$ см

Обращает на себя еще одна особенность высотной структуры поля: при наличии волноводных условий распространения (рис. 6, а) на высоте 60 м отмечен резкий спад поля, что можно объяснить «экранирующим» действием волновода. Поскольку на волне 35 см в пределах прямой видимости случаи волноводного распространения не фиксировались, что вполне объяснимо малой высотой приводного волновода, которая в большинстве опытов составляла 10...20 м по данным измерений с рефрактометром. В силу ограниченной высоты расположения крайних точек подъемника подвижного корреспондирующего пункта (89 м) на волне 35 см получена лишь часть первого лепестка интерференционной структуры, а его изрезанность обусловлена высоким уровнем боковых лепестков диаграммы направленности антенны ответчика и ее близостью к поверхности раздела [20]. Такая же структура поля оставалась и на «короткой» трассе 8 км (рис. 5, а, б, в), где снимались разрезы поля в диапазоне высот 1,5...23 м.

В общем случае при измерении высотной зависимости за конечное время множитель ослабления является функцией не только высоты, но и времени $V=V(h, t)$. Однако измерение $V(h)$ за достаточно короткое время (около 2 мин) позволяет в первом приближении устранить временную зависимость множителя ослабления.

Рассмотренные выше высокопотенциальные РЛС ($\lambda=4$ и 30 см) использовались для проведения большого объема натурных измерений по изучению спектральных характеристик надводных и аэродинамических объектов (НИР «Черемуха», «Шлюп»). При этом был получен целый ряд новых результатов: в спектре эхо-сигналов вертолета в отличие от ранее опубликованных результатов удалось выделить отдельные линии от несущего и хвостового винта за счет высокого разрешения по частоте (рис. 7). При полете вертолета на малой высоте ($H=10$ м) наблюдается расширение спектра за счет отражения от взволнованной поверхности моря [20].

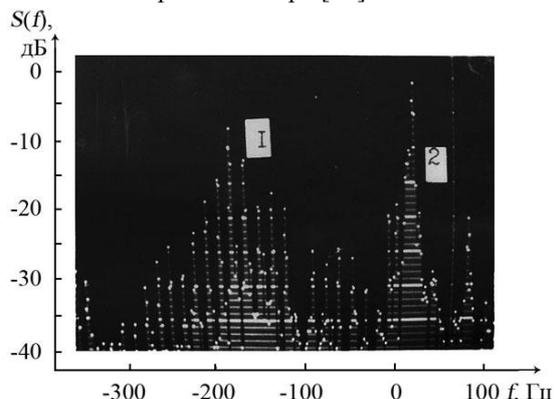


Рис. 7. Текущий спектр эхо-сигналов от вертолета типа Ка-26 на волне 35 см: 1 – спектр эхо-сигналов от вертолета; 2 – спектр эхо-сигналов от моря

В спектре эхо-сигналов от судна отмечено отражение от корабельных волн и обрушивающихся волн в носовой и кормовой части судна. Этот эффект проявляется по мере роста энерговооруженности корабля (отношение мощности силовой установки судна к его водоизмещению). Особенно хорошо наблюдаются отражения от возмущенной морской поверхности при движении судна на подводных крыльях (например, «Комета»). Отмечено смещение спектра по частоте от судна при наличии волнения, которое благодаря качке судна увеличивается при росте волнения на море и уменьшении водоизмещения судна [20].

В 1988 г. в отделе произошла смена руководства: И. С. Тургенев оставил пост руководителя отдела по возрасту и перешел на должность главного научного сотрудника, продолжая определять научную политику отдела. Отдел возглавил С. И. Хоменко, который к этому моменту защитил кандидатскую диссертацию по результатам НИР «Позиция», «Шлюп», «Черемуха». Первой крупной работой под его руководством была НИР «Образ», выполняемая по Постановлению Совета Министров СССР совместно с НПО «Салют», МВТУ им. Баумана, МАИ, Одесским политехническим институтом и научно-исследовательским центром генерального штаба Министерства обороны Украины (НИЦ ГШ МО Украины).

В работе «Образ-К» решалась актуальная проблема – обнаружение надводных объектов по вторичным образованиям в приводном слое тропосферы. В основе ее решения лежит физический эффект, который заключается в нагреве приводного слоя тропосферы за счет корпуса судна и связанного с этим искажением профиля коэффициента преломления и перераспределением тропосферных неоднородностей [21]. В одной из ранних работ, выполненных в ИРЭ, измерения параметров тропосферы проводились с борта подводной лодки, находящейся в надводном положении. Эксперименты проводились с помощью макетов высокопотенциальных РЛС в диапазоне от 8 мм до 35 см и состояли в обнаружении морских целей, которые находятся за горизонтом или в подводном состоянии. При этом использовалось изменение положения «ангел-эхо» в пространстве под воздействием цели.

В результате проведенных опытов по наблюдениям за отражениями от «ангел-эхо» был получен ряд новых результатов. Оптимальной длиной волны для наблюдения за «ангел-эхо» можно считать волну 5...6 см. При этом установлено, что:

- распределение «ангел-эхо» в пространстве над морской поверхностью зависит от судна, находящегося в этом районе;

- скорость вращения антенны влияет на «наблюдаемость» «ангел-эхо».

Кроме того, определены параметры «ангел-эхо», время «жизни», эффективная поверхность рассеяния, скорость перемещения и плотность «ангел-эхо» на единицу площади морской поверхности.

В процессе выполнения опытов на высокопотенциальных РЛС определена оптимальная форма диаграммы направленности антенны для загоризонтного обнаружения надводных объектов, а также решена задача обнаружения надводных объектов по тени, отбрасываемой ими на взволнованной морской поверхности при наблюдении за экраном РЛС. Эта проблема имеет особую актуальность в связи с созданием судов с применением технологии «Стелс» для уменьшения ЭПР. В основу исследований был положен простой экспериментальный факт. На рис. 8 приведена фотография с экрана РЛС МРЛ-1 ($\lambda=0,8$ и 3 см), на которой четко просматривается затененный участок морской поверхности на расстоянии 30-45 км.



Рис. 8. Затенение отражений от морской поверхности за счет экранировки грядой гор $H_{в}=90$ м: 1 – отражения от морской поверхности; 2 – гряда гор; 3 – затененный участок морской поверхности; 4 – отражения от мыса Чауда

РЛС была установлена на высоте 180 м над уровнем моря, а гряда гор, в которой имеется просвет, имеет высоту до 90 м. Проведенные опыты подтвердили возможность обнаружения судов по затенению отражений от морской поверхности [21-23].

Проведение НИР способствовало разработке методов и аппаратуры для цифровой обработки информации и ввода ее в ПК. В этот период отдел пополнился молодыми сотрудниками (А. Е. Зацеркляный, Д. Ю. Кулик, О. И. Калмыков, М. А. Машнев, А. А. Смирнов, В. Б. Замараев, А. В. Узленков), которые с успехом справлялись с поставленными задачами, повышая свой инженерно-технический уровень. В 1990 г. исполнители этих работ, в том числе руководи-

тель отдела С. И. Хоменко, были отмечены премией Совета Министров СССР.

В конце 1980-х и начале 1990-х гг. был разработан экспериментальный макет высокопотенциальной РЛС для исследования отражений от «ясного» неба в диапазоне 6,5 ГГц, который обеспечивал энергетический потенциал не менее 220 дБ. Несмотря на экономические трудности в стране, отдел располагал достаточным финансированием для проведения натурных экспериментов вплоть до 1992 г. Именно с этого года финансирование работ со стороны Министерства обороны практически прекратилось, в связи с чем организация экспериментальных исследований была связана со значительными трудностями. Смена тематики, поиск партнеров на первых порах давались очень трудно. Тем не менее, поддержка НИЦ ГШ МО Украины позволила выполнить ряд работ (НИР «Кафа», «Мономах», «Цель», «Захід», «Ліхтар»), наиболее весомые из которых «Захід» и «Ліхтар». Небольшое финансирование по НИР «Захід» позволило восстановить в 1996 г. трехчастотный макет РЛС ПВ дкм, провести совместно с НИЦ ГШ МО (г. Киев) и Украинским радиотехническим институтом (г. Николаев) натурные эксперименты. Было показано, что при волнении в 3-4 балла судна водоизмещением до 1000 тонн уверенно наблюдаются до расстояния в 200...250 км в диапазоне 6-13 МГц. По результатам этой НИР и ранее накопленного опыта в отделе были разработаны предложения на ОКР, определены исполнители разработки нового загоризонтного локатора и области его применения. Показано, что кроме охраны территориальных вод и экономической зоны с помощью разработанной загоризонтной РЛС можно определять направление и скорость морских течений, скорость и направление ветра, высоту морских волн [17, 18]. Однако результаты указанных разработок до сих пор не востребованы, хотя предприятие НИИ ДАР (Россия) поставляет несколько вариантов построения РЛС ПВ дкм и проводит их испытания в натурных условиях в Китае.

Аналогичная ситуация имела место и с переносной РЛС для пограничной службы Украины, разработанной по НИР «Ліхтар» совместно с отделом № 35 ИРЭ. Харьковский завод им. Т. Г. Шевченко взялся за изготовление серийного образца, была разработана соответствующая техническая документация, однако отсутствие финансирования не позволило довести указанную НИОКР до выпуска опытной партии РЛС.

Эпизодические переходы отдела на неполную рабочую неделю, низкая заработная плата не способствовали сохранению в коллективе молодых сотрудников. Положительные тенденции в финансировании отдела наметились в 2001-2004 гг. и способствовали притоку молодых

сотрудников (Д. Д. Халамейда, И. В. Луценко), росту его численности и, что очень важно, расширению партнерских связей с зарубежьем. Одной из таких работ отдела был проект УНТЦ № 144, в котором удалось, несмотря на трудности с организацией натурального эксперимента, успешно выполнить измерения по диагностике условий распространения радиоволн по радиоизлучению ИСЗ на морских трассах. С этой целью был создан аппаратный комплекс для измерения атмосферной рефракции, использующий сигналы навигационного и геостационарного спутников в диапазоне частот 3-4 ГГц. База интерферометра составляла 15 м, что обеспечивало точность измерения угловых координат не хуже 1 угл. минуты. При использовании спутника *GPS* высота установки антенны составляла 40 м, а использованная система обработки сигналов обеспечивала отношение сигнал/шум не менее 40 дБ.

В 2003 г. в отдел вошла группа сотрудников (А. А. Костенко, В. П. Макулин, Л. Ф. Крамаренко, Г. А. Руднев, А. Л. Теплюк, В. А. Штых) во главе с д. т. н. Г. И. Хлоповым, который и возглавил отдел. В течение продолжительного времени в этой группе проводились исследования в области антенно-фидерных устройств, распространения радиоволн и создания когерентных радиолокационных систем в мм диапазоне радиоволн.

В период 1975-1980 гг. была решена задача создания квазиоптического антенно-фидерного устройства импульсной РЛС коротковолновой части (КВЧ) ММД ($\lambda=2$ мм) на основе сверхразмерного волновода круглого сечения с волной H_{11} . При этом были впервые разработаны антенные переключатели для обеспечения совместной работы приемно-передающего устройства РЛС на общую антенну в виде ферритового циркулятора и оптоэлектронного переключателя квазиоптического типа (НИР «Лютик», «Абзац»). По результатам этих работ А. А. Костенко и Г. И. Хлоповым были защищены кандидатские диссертации.

В 1982 г. была впервые создана когерентная РЛС 2-мм диапазона на базе генератора дифракционного излучения, разработанного ИРЭ (НИР «Коррида», «Альгаир») [24-25]. Это позволило группе Г. И. Хлопова провести в 1983-1989 гг. широкий круг натуральных экспериментов по исследованию условий распространения когерентных сигналов КВЧ мм диапазона, в том числе по оценке влияния турбулентности атмосферы, флуктуаций в осадках и влияния растительности (НИР «Аргумент», «Магия-УА», «Маяк-УА» и др.). В 1989-1992 гг. были впервые проведены исследования [24-25] радиофизических свойств различных движущихся радиолокационных целей в КВЧ ММД, включая движущиеся наземные транспортные средства и человека (НИР «Маска», «Клен-ГКНО»).

Анализ полученных данных позволил предложить новый подход к решению задачи распознавания движущихся целей с использованием концепции «радиоакустического» портрета цели и получить в 1991-1993 гг. первые экспериментальные результаты (НИР «Шихта-УН»). В дальнейшем были созданы экспериментальные макеты когерентных РЛС в 2- и 3-мм диапазонах применительно к задаче обнаружения и сопровождения наземных целей, а также технологических РЛС для контроля параметров технологических процессов, включая горение и взрыв, измерение параметров пароводяной смеси в мощных паровых турбинах, бесконтактное измерение вибраций (НИР «МИГ-19-УА» и др). Материалы этих исследований были обобщены в докторской диссертации Г. И. Хлопова.

В связи с конверсией исследований, проводимых в рамках оборонной тематики, особое внимание было уделено разработкам в области радиоволновых датчиков для систем охранной сигнализации, где применение мм диапазона в решении задач распознавания оказались весьма актуальными. В частности, были созданы практические образцы датчиков, которые эксплуатируются продолжительное время на объектах нефтегазовой промышленности, в местах заключения и др.

Группа Г. И. Хлопова приобрела опыт работы с зарубежными партнерами, выполняя исследования в рамках грантов от НАТО, фондов *CRDF* и УНТЦ по разработке радиолокационных датчиков широкого применения. Кроме того, выполнялись контракты с компанией *UBS* (Канада) по разработке комплекта антенн для широкополосных систем связи, антенных систем для автомобильного радара и др. Опыт связей с зарубежными партнерами должен способствовать привлечению средств зарубежных инвесторов для финансирования работ отдела, внедрению результатов научных исследований в практические разработки.

В настоящие годы вырос интерес к дистанционным методам зондирования опасных явлений природы, таких как град, сильные ливни, шквалы, грозы и паводки. В частности, в указе президента Украины 2004 года указывается на необходимость осуществления мер по усовершенствованию метеорологических радиолокационных наблюдений с целью эффективного прогнозирования наводнений.

В Крыму ежегодно наблюдается до 20 дней выпадения града, а 3...5 дней бывает град размером от 2 до 5 см. В то же время в Крыму была создана и успешно функционирует военизированная служба по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, в основе которой – радиолокационные средства наблюдения за ОЯП (опасные явления природы). Основной задачей службы является защита сельхозугодий от града, сильных ливневых осадков. Поэтому отдел

установил тесные контакты с этой организацией в части проведения научных исследований в интересах распознавания опасных явлений на основе радиолокационного зондирования тропосферы.

В НИР «Зонд», которая в настоящее время выполняется в отделе, основное внимание уделено важной прикладной задаче – совершенствованию методов борьбы с ОЯП. С этой целью в Институте развернут метеорологический локатор МРЛ-1 (рис. 9), в котором осуществлены следующие доработки:

- ввод информации в ПК;
- обработка полученной информации (спектры, взаимные спектры и т. д.);
- управление положением антенны от ПК;
- сопряжение оптической системы «Карат» для визуального наблюдения за метеорологическими объектами с электрической осью антенны.



Рис. 9. РЛС МРЛ-1 на позиции

Кроме того, в настоящее время вводится в эксплуатацию радиофизический высокопотенциальный комплекс на базе когерентно-импульсной РЛС с энергетическим потенциалом в 220 дБ. Основное назначение – определение характеристик турбулентностей тропосферы, вихрей, конвективных ячеек, термических струй, что очень важно для обеспечения безопасности полетов авиации.

В качестве основных достижений отдела следует отметить следующие:

- создание первого в СССР радиолокатора поверхностной волны в КВЧ дкм диапазона (И. С. Тургенев, И. Д. Гонтарь, И. И. Пикулик, Г. М. Моргун, С. Б. Кашеев, П. А. Мельяновский);
- достижение рекордно высокой точности пеленгования объектов фазометрическими методами на морских и сухопутных трассах (В. Ф. Шульга, И. Д. Гонтарь);
- разработка методики измерения высотных профилей $N(h)$ с борта вертолета и привязного шарзонда с помощью рефрактометра, получение всепогодной статистики наблюдения профилей $N(h)$ на Черном море (И. С. Тургенев, В. А. Кабанов);

- получение статистики многолучевых замираний волн ММД в дождях (В. Б. Синицкий);

- исследование особенностей распространения радиоволн КВЧ сантиметрового диапазона на морских трассах и связи с аналогичными характеристиками на открытых акваториях Мирового океана (И. С. Тургенев, В. Ф. Шульга, В. Ю. Рязанцев, В. А. Картунов, И. М. Мыценко, С. И. Хоменко);

- исследование статистики и спектральных характеристик сигналов, отраженных от ангел-эхо и их связи с метеорологическими параметрами тропосферы (А. Е. Зацеркляный, Д. Ю. Кулик, С. И. Хоменко, Е. Н. Белов);

- обнаружение надводного объекта по изменению положения «ангел-эхо» в прилежащем слое тропосферы (С. И. Хоменко, А. Е. Зацеркляный, Д. Ю. Кулик);

- обнаружение надводных объектов по радиолокационной тени на морской поверхности (И. С. Тургенев, С. И. Хоменко, А. Е. Зацеркляный);

- исследование спектральных характеристик помех, отражений от корабельных волн и кильватерного следа, а также надводных целей в динамическом диапазоне до 60 дБ (В. Н. Горобец, Г. Г. Майков, В. Г. Гутник, С. И. Хоменко);

- диагностика условий распространения радиоволн с помощью радиоизлучения ИСЗ (И. С. Тургенев, В. Б. Синицкий, С. И. Хоменко, Г. А. Алексеев, Г. М. Моргун, Б. М. Курко, В. Б. Замараев);

- разработка когерентного радиолокатора в КВЧ ММД (Г. И. Хлопов, А. А. Костенко, В. С. Коростылев, С. П. Мартынюк);

- разработка, изготовление и реализация в производстве радио-, звуковых и оптических датчиков для решения задач охраны особо важных объектов, безопасности железнодорожных переездов, измерения уровней жидких и сыпучих веществ, а также определения параметров загрязненности водной поверхности (Г. И. Хлопов, В. П. Макулин, Г. А. Руднев, Б. В. Жуков, А. В. Узленков).

За 53 года работы отдела (1955–2008 гг.) выполнено около 50 НИР, опубликовано 3 монографии, более 500 научных статей, а результаты исследований докладывались на 68 научных конференциях и симпозиумах. В настоящее время в отделе работает 25 сотрудников, из которых 10 имеют ученые степени кандидата наук и 1 – доктора наук.

1. Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины 50 лет / Под ред. В. М. Яковенко и др. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины, 2005. – 612 с.
2. Радиоокеанографические исследования морского волнения / Под ред. С. Я. Брауде. – Киев: Изд-во АН УССР, 1962. – 116 с.
3. Тургенев И. С., Кивва Ф. В. Некоторые особенности распространения радиоволн над морем в зоне ближней

- тени // XII Всесоюз. конф. по распространению радиоволн: Тез. докл. – Томск, 1978. – Ч. 2. – С. 5-9.
4. *Бормотов В. Н., Гонтарь И. Д., Синецкий В. Б., Шульга В. Ф.* Наземный и самолетный рефрактометры // IX Всесоюз. конф. по распространению радиоволн (23-28 июня 1969 г.): Тез. докл. – Харьков, 1969. – Ч. 1. – С. 216-218.
 5. *Гонтарь И. Д., Кивва Ф. В., Рязанцев В. Ю. и др.* Экспериментальные исследования радиолокационных сигналов, рассеянных морской поверхностью в диапазоне СВЧ // Сб. науч. тр. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. АН Украины. – 1992. – 220 с.
 6. *Кивва Ф. В., Синецкий В. Б., Тургенев И. С., Хоменко С. И.* Спектральные характеристики отражений от метеообразований // XII Всесоюз. конф. по распространению радиоволн: Тез. докл. – Томск, 1978. – Ч. 2. – С. 225-227.
 7. *Кивва Ф. В., Синецкий В. Б., Тургенев И. С., Хоменко С. И.* О некоторых особенностях текущих спектров СВЧ сигналов, отраженных морем // XIII Всесоюз. конф. по распространению радиоволн: Тез. докл. – Горький, 1981. – Ч. 2. – С. 193-196.
 8. *Горбещ В. Н., Гутник В. Г., Майков Г. Г., Хоменко С. И.* Доплеровские спектры СВЧ сигналов, рассеянных струей истекающих газов газотурбинного двигателя и параметры флуктуаций коэффициента преломления за соплом // XVI Всесоюзная конф. по распространению радиоволн: Тез. докл. – Харьков, 1990. – Ч. 2. – С. 291.
 9. *Тургенев И. С.* Рефрактометрические измерения с помощью вертолета // Радиотехника. – 1980. – № 52. – С. 4-97.
 10. *Кабанов В. А., Тургенев И. С.* Рефрактометрические исследования слоистых образований над морем // Радиотехника. – 1980. – № 55. – С. 99-100.
 11. *Дорфман Н. А., Кивва Ф. В., Тургенев И. С.* Статистические характеристики показателя преломления в приводном слое атмосферы // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1978. – 14, № 5. – С. 549-552.
 12. *Тургенев И. С., Синецкий В. Б., Ширманова С. И.* Вариации углов рефракции в приводном слое атмосферы по результатам измерений с ИСЗ // XVI Всесоюзная конф. по распространению радиоволн: Тез. докл. – Харьков, 1990. – С. 65.
 13. *Синецкий В. Б., Тургенев И. С., Ширманова С. И.* Измерение и расчет углов атмосферной рефракции по радиозаходам ИСЗ над морем // Радиотехника. – 1993. – № 96. – С. 52-60.
 14. *Моргун Г. М., Пикулик И. И.* Измерение характеристик морского волнения на макете декаметрового РЛС поверхностной волны / Сб. науч. тр. Радиофизич. исслед. Мирового океана. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. АН Украины. – 1992. – С. 100-106.
 15. *Тургенев И. С., Хоменко С. И.* О влиянии близости антенн декаметрового диапазона к взволнованной поверхности моря // Сб. науч. тр. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. АН Украины. – 1993. – 144 с.
 16. *Гонтарь И. Д., Тургенев И. С., Хоменко С. И.* О некоторых особенностях загоризонтного распространения радиоволн дкм диапазона над поверхностью моря // XVII конф. по распространению радиоволн: Тез. докл. – Ульяновск, 1993. – С. 43.
 17. *Моргун Г. М., Пикулик И. И.* Измерение характеристик морского волнения при локации поверхностной волны в декаметровом диапазоне // Электромагнитные волны и электромагнитные системы. – 1997. – 4, № 2. – С. 87-92.
 18. *Tourgenev I. S., Khomenko S. I.* On the Feasibility of Detecting Non-Submerged Targets by the Radar Shadow Cast on the Sea Surface // Telecommunications and Radio Engineering. – 1997. – No. 9. – P. 15-19.
 19. *Мыценко И. М., Хоменко С. И.* Диагностика и прогнозирование дальности действия судовых навигационных РЛС трехсантиметрового диапазона // Радиофизика и электроника. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. АН Украины. – 2001. – 6, № 1. – С. 67-71.
 20. *Кабанов В. А., Майков Г. Г., Синецкий В. Б. и др.* Исследования распространения радиоволн СВЧ-диапазона на морских трассах / Сб. науч. тр. – Киев: Наук. думка, 1984. – 300 с.
 21. Отчет по НИР «Верес» / Науч. рук. Кивва Ф. В., Тургенев И. С. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. АН УССР. – 1984. – 316 с.

22. Отчет по НИР «Образ-К» / Науч. рук. Хоменко С. И. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. АН Украины. – 1991. – 520 с.
23. *Тургенев И. С., Хоменко С. И., Зацеркляный А. Е.* О возможности обнаружения надводных объектов по радиолокационной тени, создаваемой ими на морской поверхности // Радиофизика и электроника. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. АН Украины. – 1998. – 4, № 1. – С. 59-62.
24. *Хлопов Г. И.* Когерентная радиолокация в миллиметровом диапазоне // Зарубеж. радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектрон. – 1999. – № 9. – С. 3-27.
25. *Шестопалов В. П., Вертий А. А., Ермак Г. П. и др.* Генераторы дифракционного излучения – Киев: Наук. думка, 1991. – 320 с.

DEVELOPMENT OF RESEARCH ACTIVITIES IN THE DEPARTMENT OF PHYSICAL RADAR PRINCIPLES OF THE IRE NAS OF UKRAINE

G. I. Khlopov, S. I. Komenko

In the paper the research activity of the department of physical radar principles during 1955-2008 is presented. The development of the department and the most essential results of fundamental studies in the areas of the over-the-horizon radio propagation and over-the-horizon radar systems, diagnosis of radio propagation by use of compact refractometers and radiation from space objects, spectral characteristics of signals, scattered by sea surface, surface and air objects, as well as coherent radar in short wave millimeter waves are presented. Furthermore the main results of applied research, concerning warning radar of hazard phenomena in atmosphere, sensors for alarm systems and control of hazardous substances venting in industry are discussed.

Key words: over-the-horizon radar, radio propagation, sea surface, surface and air objects, coherent radar.

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ВІДДІЛІ ФІЗИЧНИХ ОСНОВ РАДІОЛОКАЦІЇ ІРЕ НАН УКРАЇНИ

Г. І. Хлопов, С. І. Хоменко

У роботі відображено діяльність відділу фізичних основ радіолокації в період 1955-2008 рр. Показано процес розвитку відділу, подано найбільш значимі наукові результати фундаментальних досліджень в області загоризонтного розповсюдження радіохвиль та систем загоризонтної радіолокації в діапазоні від декаметрових радіохвиль до НВЧ діапазону, діагностики умов розповсюдження радіохвиль з використанням малогабаритних рефрактометрів і радіовипромінювання космічних об'єктів, вивчення спектральних характеристик зворотного розсіювання від морської поверхні надводних й повітряних об'єктів, а також когерентної радіолокації в короткохвильовій частині міліметрового діапазону. Крім того, подано основні результати прикладних досліджень, зв'язаних із створенням радіолокаційних комплексів для попередження небезпечних явищ природи, датчиків для систем охоронної сигналізації та контролю викидів шкідливих речовин у виробництві.

Ключові слова: загоризонтна радіолокація, розповсюдження радіохвиль, морська поверхня, надводні, повітряні об'єкти, когерентна радіолокація.

Рукопись поступила 6 июня 2008 г.