

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ РАДИОФИЗИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ

---

На правах рукописи

КОЛЕСНИКОВ Владимир Григорьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТРАСТОВ И КОНТРАСТООБРАЗОВАНИЯ  
РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ДЛИННО-  
РАДИОВОЛН

( 01.04.03 - "Радиофизика" )

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1992

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00825542 (Q)

№ 26. 494

Работа выполнена в Ордена Трудового Красного Знамени  
Институте радиопизики и электроники АН Украины

Научный руководитель - доктор технических наук,  
РАЗСКАЗОВСКИЙ Вадим Борисович

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор  
ОСТРОВСКИЙ Исаак Еремеевич;  
кандидат физико-математических наук  
ШАРАПОВ Леонид Иванович

Ведущая организация - Харьковский государственный университет  
им.А.М.Горького

Защита состоится "26" января 1993 года в "16<sup>30</sup>" часов  
на заседании специализированного совета Д 016.64.01 при  
Институте радиопизики и электроники АН Украины ( 310085,  
Харьков, 85 ул. Ак.Проскура, 12 ).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке  
ИРЭ АН Украины.

Автореферат разослан "23" 12 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор физ.-мат.наук

К.А. ЛУКИН

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН УРСР

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ.** Одной из важных и интенсивно развивавшейся областей современной радиофизики является дистанционное зондирование, в основе которого лежит изучение рассеяния радиоволн земной поверхностью. Сферой практических приложений результатов таких исследований является, в частности, картографирование в радиодиапазоне, изучение динамики антропогенного воздействия и состояния агроресурсов для задач земледелия, создание корреляционно-экстремальных систем навигации и ряд других. Применение радиоволн миллиметрового диапазона для решения этих задач имеет ряд преимуществ перед более длинноволновыми или оптическими системами, позволяя сочетать высокую разрешающую способность со всепогодностью. В основе перечисленных применений лежит изучение рассеяния радиоволн, ориентированное на определение зависимостей его от состояния окружающей среды, сезона, ландшафта и на выделение контрастообразующих элементов местности.

**ЦЕЛЬ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ** является экспериментальное изучение рассеяния миллиметровых радиоволн поверхностью суши с различными растительными покровами применительно к условиям работы бортовых РЛС летательных аппаратов (ЛА), исследование контрастов и контрастообразующих элементов различных ландшафтов земной поверхности в зависимости от физического состояния, их пространственно-временной изменчивости и ее зависимости от условий облучения и сезона.

**МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ:** сочетание экспериментального изучения с борта ЛА удельных ЭПР протяженных участков земной поверхности с помощью РЛС Б0 и детального изучения отдельных фрагментов этих участков с помощью бортового скатерометра (режим зависания), по специально разработанной методике в течение различных сезонов года, углах падения и облучения.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА.** 1. Впервые были проведены систематические измерения удельных ЭПР представительного набора различных участков земной поверхности при разных условиях облучения, охватывающие все характерные сезонные и погодные изменения.

2. Определены контрасты, обусловленные сменой участков с отличающейся удельной ЭПР, выделены контрастообразующие элементы на антропогенных и природных ландшафтах в зависимости от сезона года.

3. Впервые на основе экспериментального исследования определена пространственно-временная устойчивость контрастов и контрастообразующих элементов различных ландшафтов земной поверхности в ММВ диапазоне радиоволн.

Положения, выносимые на защиту:

1) статистические характеристики удельной ЭПР типичных участков лесных, антропогенных и сельскохозяйственных ландшафтов при различных условиях облучения; контрасты удельной ЭПР этих участков в различные сезоны года и их вариации при изменении физических условий окружающей среды, включая кратковременные инверсии контрастов удельной ЭПР;

2) виды контрастообразующих элементов радиолокационных изображений различных ландшафтов земной поверхности, образованных разными факторами, включая антропогенные, зависимость их от угла облучения, времени суток и сезона года при разных физических состояниях окружающей среды, включая динамику контрастообразующих элементов на протяжении нескольких лет.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ** работы определяется тем, что полученные результаты раскрывают природу радиолокационных контрастов, дают необходимую разработчикам радиосистем информацию о контрастах и контрастообразующих элементах разных участков и объектов природного и антропогенного ландшафтов при их различных физических состояниях в ДВЧ ММВ диапазоне радиоволн.

Результаты работы могут быть использованы в радиокартографии, ландшафтоведении, аэронавигации и сельском хозяйстве.

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.** Основные результаты докладывались на Всесоюзных конференциях по распространению и рассеянию радиоволн, Всесоюзном симпозиуме по миллиметровым и субмиллиметровым волнам, на Всесоюзной школе-семинаре по миллиметровым и субмиллиметровым волнам, а также на семинарах и конференциях специалистов ИРЭ АН Украины и опубликованы в сборниках тезисов докладов указанных конференций.

**ПУБЛИКАЦИИ.** По материалам диссертации опубликовано 9 работ.

**ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и приложения. Основной печатный текст составляет 84 страницы. В диссертации имеется 73 рисунка, 3 таблицы и список литературы из 37 наименований. Полный объем диссертации составляет 136 страниц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении проведен краткий обзор литературных данных о контрастах и контрастообразующих элементах радиолокационных изображений различных участков земной поверхности в разные сезоны года в ММВ и СМВ диапазоне радиоволн, и на основе их анализа сформулированы задачи исследования, показана их научная новизна и значимость, указаны области практического применения, приведены сведения об апробации результатов.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ обосновывается методика определения контрастов и контрастообразующих элементов удельной ЭПР различных участков земной поверхности с помощью бортового сканера и РЛС бокового обзора.

При экспериментальном изучении изменчивости удельной ЭПР и ее влияния на радиолокационные контрасты необходимо в каждом опыте обеспечить высококачественную калибровку всего бортового измерительно-регистрающего комплекса (ИРК).

Предложено проведение калибровки бортового измерительного комплекса по радиолокационному отражению от взлетно-посадочной полосы (ВПП) и разлетной площадки (РП) вертолетов с бетонным покрытием. Правомерность такой калибровки основывается на теоретических результатах [1], полученных для модели поверхности со сложной шероховатостью. Модель представляет собой совокупность мелкошероховатых пластин-фацетов, средний уровень которых совпадает с поверхностью крупных (сглаженных) шероховатостей. Размеры фацета предполагаются в несколько раз больше длины облучающей волны; радиус кривизны средней поверхности фацета значительно больше их размеров; высота неровностей фацета меньше длины облучающей волны; радиус пространственной

корреляции, характеризующий изменения высоты неровностей по поверхности facets, существенно меньше размеров facets.

Для такой модели удельная ЗПР при совпадающей поляризации приема и передачи выражается соотношением

$$\sigma^{\circ} = \sigma_1^{\circ}(\theta) + \sigma_2^{\circ}(\theta) |M_n(\theta)|^2, \quad (1)$$

где  $\theta$  - угол падения радиоволны.

$$\sigma_1^{\circ}(\theta) = (|K_f(\theta)|^2 / a_{m_1}^2) \exp[-\text{tg}^2 \theta / a_{m_1}^2 - (4\pi \sigma_{h_2} / \lambda)^2] \text{sec}^4 \theta \quad (2)$$

$|K_f(\theta)| = |(\sqrt{\epsilon} - 1)(\sqrt{\epsilon} + 1)|$  - модуль коэффициента Френеля;

$\epsilon$  - комплексная диэлектрическая проницаемость;

$a_{m_1}^2 = 4\sigma_{h_1}^2 / \ell_{h_1}^2$ ;  $\sigma_{h_1}^2$  и  $\ell_{h_1}$  - соответственно дисперсия и радиус пространственной корреляции крупномасштабных неровностей;

$\lambda$  - длина волны облучения;

$$\sigma_2^{\circ}(\theta) = 4(2\pi/\lambda)^4 \sigma_{h_2}^2 \ell_{h_2}^2 \cos^4 \theta \exp[-(2\pi \ell_{h_2} / \lambda)^2 \sin^2 \theta],$$

$$M_n = (\epsilon - 1)[(\epsilon - 1)\sin^2 \theta + \epsilon] / [\epsilon \cos \theta + \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta}]^2 \text{ для вертикальной}$$

$$M_n = (\epsilon - 1) / [\epsilon \cos \theta + \sqrt{\epsilon - \sin^2 \theta}]^2 \text{ - для горизонтальной.}$$

Поверхность бетонного покрытия аэродрома удовлетворяет теоретическим ограничениям модели для всех используемых в настоящее время длин радиоволн, включая миллиметровые.

Калибровка состояла в измерении зависимости удельной ЗПР от угла облучения  $\theta$  в сравнительно небольших пределах (квазизеркальное отражение). Максимальная величина угла должна превышать полуширину так называемой эффективной диаграммы направленности антенны, в которую входят и флуктуации углов крена и тангажа летательного аппарата, для вертолета в режиме зависания достигавшие  $5^{\circ} - 7^{\circ}$ . В калибровочных измерениях отсчеты значений мощности принятого сигнала производились при углах  $\theta = 0^{\circ}$ ,  $\theta = 5^{\circ}$ ,  $\theta = 10^{\circ}$ . Использовались два режима калибровочного полета: полет над ВПП или зависание над РП. Высота полета должна выбираться так, чтобы надежно исключить возможность выхода "освещенного пятна" за пределы эталонного участка. В данных измерениях она составляла 270 м.

Почти во всем рассматриваемом диапазоне радиоволн, исключая может быть лишь самую коротковолновую часть миллиметрового диапа-

зона, можно пренебречь для бетонного покрытия вторым слагаемым в выражении (1) по сравнению с первым при малых углах  $\theta$ , т.е. пользоваться для удельной ЗПР выражением (2).

Для калибровки бортового ИРК и абсолютной привязки удельных ЗПР, полученных по результатам измерений, был изготовлен прецизионный уголкового отражателя со стороной 30 см, который устанавливался на слабоотражающей под рабочими углами (бетонной) поверхности. Расчетная ЗПР этого отражателя составляет около 530 м<sup>2</sup>. В опытах по уголкового отражателя последний при пролете ДА визирировался на углах места от 28° до 70°. Затем по записи определялся максимум сигнала с поправкой на ЗПР уголкового отражателя при соответствующем опыту угле визирирования; таким образом получились дискретные контрольные точки ДН антенны бортового ИРК.

Исследование сезонного хода удельной ЗПР (соответственно контрастов и контрастообразующих элементов) определяло программу летного дня; в случае появления быстропеременных контрастов удельной ЗПР (особенно в переходные периоды зима-весна, осень-зима, а также в случае интенсивных гидрометеоров) программа исследований соответственно перестраивалась.

Курсы маршрутов по сельскохозяйственным ландшафтам выбирались так, чтобы исследуемые поля следовали друг за другом для уменьшения влияния на результаты измерений временной нестабильности аппаратуры.

Измерения бортовым скатерометром проводились по 8-ми предварительно выбранным точкам (3 лесные, 2 с/х культуры, дубовая, бетонная и водная поверхности) в режиме зависания вертолета на высоте 270 м. при различных углах места визирирования рабочей точки (0°, 5°, 10°, 15°, 30°, 45°. Точка представляет собой характерный участок исследуемой поверхности диаметром около 30 м.

Точность удержания вертолета на заданной высоте контролировалась с помощью специально разработанного дальномера; отсчет высоты автоматически регистрировался одновременно с отраженным сигналом; погрешность измерения высоты по водной или бетонной поверхности не превышала  $\pm 1,5$  м.

Измерения по характерным участкам различных ландшафтов проводились в полетах по маршрутам с измерительно-регистрающим комплексом, включающим РДС Б0. Маршрут представляет собой характерный участок ландшафта размером 700м на 3200м. В течение ряда лет исследовалось 12 рабочих маршрутов.

Радиолокационное изображение представляло собой оцифрованную матрицу из 52 элементов (строка) x 250 элементов (рядок), амплитуда в элементе квантовалась на 256 уровней; для снижения дисперсии отраженного сигнала в строке могло осуществляться накопление импульсов. Исследования угломестной зависимости контрастообразующих элементов различных ландшафтов производились параллельным смещением курса маршрута на дискретный шаг соответствующий дискрету угломестного отсчета; исследование зависимости контрастообразующих элементов от угла облучения проводилось с помощью звездообразно построенных курсов с заданным дискретом смещения курса маршрута по углу в азимутальной плоскости.

Измерения охватывали промежуток времени в 10 лет, выполнялось от 200 до 270 полетов в год, более или менее равномерно распределенных по всем сезонам.

ВТОРАЯ ГЛАВА содержит результаты натуральных измерений удельной ЭПР и контрастообразующих элементов характерных участков и объектов лесных, полевых (сельскохозяйственных) и антропогенных ландшафтов в разное время года, сезона и дня.

Установлено, что сезонные измерения удельной ЭПР участков существенно зависят от типа растительного покрова.

На рис. 1 представлен усредненный (за месяц) сезонный ход удельной ЭПР 6-ти рабочих точек в течение года при вертикальном ( $\theta=0^\circ$ ) зондировании. Точки 1, 3, 5, относятся к лесным участкам, точки 2, 4, 6 к полевым и с/х участкам. Максимальной дисперсией удельной ЭПР обладает точка N 4 (выгон), которая в апреле имеет наименьшую ЭПР за счет некошенной густой сухой травы, обладающей при определенных влажностях высоким коэффициентом затухания; в зимние месяцы при наличии снежного покрова удельная ЭПР точки N 4 выравнивается с остальными открытыми поверхностями и достигает максимума в феврале-марте.

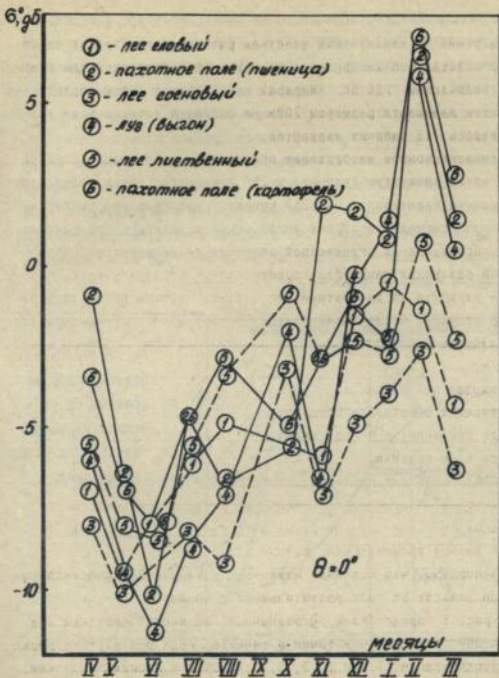


Рис.1 Среднемесячные значения удельной ЭПР рабочих точек при вертикальном зондировании

Точка № 5 (лес лиственный) имеет значительные выбросы удельной ЭПР превышающие на 10 дБ среднемесячное значение при сходе снежного покрова и образовании на ровных участках и впадинах открытой поверх-

ности воды. Наиболее консервативными поверхностями, т.е. имеющими меньшую дисперсию, являются леса хвойных пород. Так точка НЗ (лес сосновый; лесотехнические характеристики указаны в приложении к диссертации) имеет дисперсию около 4дБ. Выбросы удельной ЗПР хвойных лесов крайне редки, и возможны при выполнении определенных условий и наличии снежного покрова на лапах сосен и елей.

Установлено, что период инверсии температуры воздуха (март-апрель) возможна показанная на рис.2 зависимость, где в течение 0,5 часа разность удельных ЗПР между открытой поверхностью поля и хвойным лесом поменяла знак, т.е. инверсия контраста удельной ЗПР пары заснеженное поле - лес хвойный на уровне 3дБ может происходить за время менее 0,5 часа.

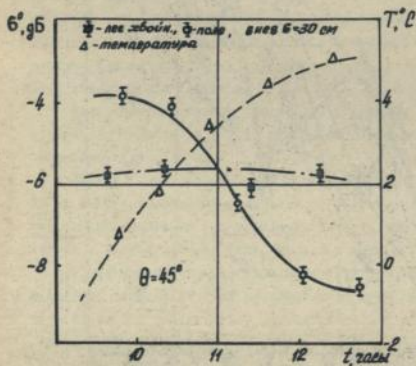


Рис.2 Зависимость удельной ЗПР от времени суток в период инверсии температуры воздуха (март-апрель)

В период существования снежного покрова поверхности (с поверхностью близкой к горизонтальной) можно разделить на три основных вида (по отношению к длине радиоволны), - квазигладкие (вода, некоторые виды бетона, асфальт), шероховатые (с/х культуры, пашня, пар) и лесные поверхности, при этом лес лиственный без листьев, имеет тенденцию в зимний период быть ближе к открытой поверхности. Это частично относится и к летнему периоду, когда в качестве открытой по-

верхности мы имеем пашню. При инверсии суточных температур верхнего слоя (даже в отсутствии снежного покрова в период марта-апреля) пашня в определенное время суток приближается по значениям удельной ЗПР к квазигладким поверхностям.

На рис. 3 приведены эмпирические законы распределения разностей отраженного сигнала на уровне 0,7 максимума при угле падения от  $0^\circ$  до  $25^\circ$  в режиме зависания ЛА в летний период по разным рабочим точкам. Из него видно, что значимых различий, если в качестве таковых выбрать 1,5 дБ не наблюдается, т.е. угломестная зависимость удельной ЗПР для этих трех поверхностей в диапазоне углов падения  $0^\circ - 25^\circ$  в летний период примерно совпадает.

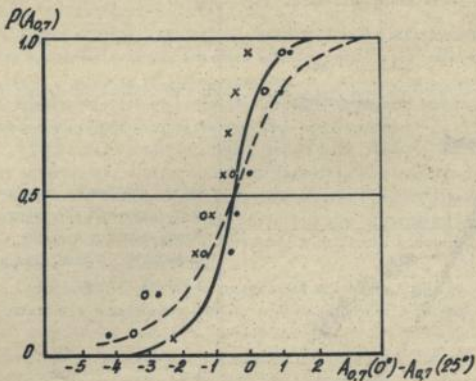


Рис. 3. Эмпирические распределения разности отраженного сигнала на уровне 0,7 при углах падения  $0^\circ - 25^\circ$  для елового леса (точки), пахотного поля (кружочки), соснового леса (крестики); штриховая линия - нормальное распределение с  $\alpha = 0,5\text{дБ}$   $\sigma = 1,5\text{дБ}$ , сплошная линия - нормальное распределение с  $\alpha = 0,5\text{дБ}$   $\sigma = 0,75\text{дБ}$ .

Результаты исследований угломестной зависимости в диапазоне углов падения  $0^\circ - 60^\circ$ , приведенные на рис. 4, показали, что удельные ЗПР открытых поверхностей в области углов падения  $0^\circ - 20^\circ$  значительно превышает удельные ЗПР лесных в зимний период, летом уровень  $6^\circ$  в области углов падения  $0^\circ - 20^\circ$  открытых поверхностей снижается и практически совпадает с лесными поверхностями. В области углов падения  $25^\circ - 30^\circ$  (область "перевязки" линий рис. 4), радиолокационные яркости различных поверхностей практически совпадают (исключая уголковое, гладкие и квазигладкие поверхности), т.е. контраст отсутствует.

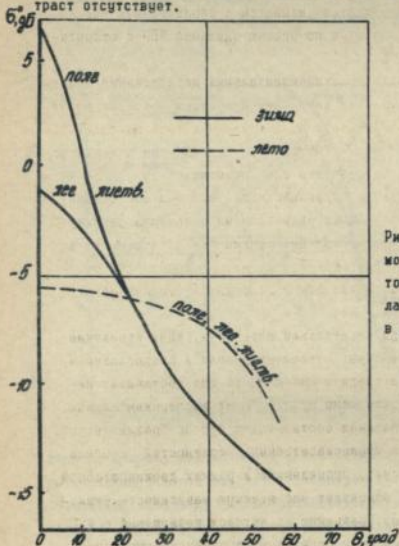


Рис.4. Обобщенная зависимость удельной ЗПР рабочих точек лесных и полевых ландшафтов от угла падения в разных сезонах года.

Радиолокационные контрасты различных контрастообразующих элементов исследовались при полете по звездообразно расположенным

маршрутам.

Установлено, что для большинства контрастообразующих элементов существует сезонная вариация. Это относится к контрастообразующим элементам; образованным как геометрическими структурами, так и открытыми участками с разной удельной ЗПР. Так, например, "шероховатый" уголок, образованный стеной 9 - этажного дома и прилегающим участком грунта (газоном, кустарником и т.п.) будет иметь в разные сезоны различные радиолокационные характеристики зависящие от состояния подстилающей поверхности. Открытые поверхности рек, озер (прудов), водохранилищ и т.п., представляющие собой контрастообразующие элементы некоторых ландшафтов, меняются с образованием ледового и снежного покрова и сливаются по уровню удельной ЗПР с открытыми с/х ландшафтами.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований позволили определить как под влиянием различных природных факторов будут меняться контрасты различных участков, а также выделить наиболее устойчивые контрастообразующие элементы и углы падения при которых условия обнаружения контрастов наиболее благоприятны.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА содержит анализ результатов, включая сопоставление существующих моделей рассеяния радиоволн мм диапазона разными поверхностями с полученными экспериментальными результатами, а также исследование статистических характеристик и устойчивости контраста и контрастообразующих элементов характерных участков разных ландшафтов на протяжении ряда лет.

Если оценить по методу касательной плоскости (МКП) отношение зеркальной и диффузной компонент рассеянного поля в предположении, что поверхность бетона в среднем плоская, то оно составляет несколько десятков децибел, что явно противоречит экспериментальным данным. Следовательно зеркальная составляющая как бы "размывается", что соответствует наличию крупномасштабных неровностей с углом наклона до  $1,5^{\circ}$  -  $2,0^{\circ}$ . Расчет, проведенный в рамках двухмасштабной модели, значительно лучше описывает наблюдаемую зависимость удельной ЗПР от угла падения по сравнению с методом возмущений и МКП. Для проверки вышесказанного были проведены непосредственные измерения профиля бетонной поверхности, подтвердившие наличие крупно-

масштабных составляющих с углом наклона до  $2^\circ$ .

Расчет удельной ЭПР пашни и боронованного поля проведен для модели поверхности с синусоидальным профилем. При этом коэффициенты Френеля для песчаных и глинистых грунтов брались при различных значениях влажности. Полученные расчетные значения показывают, что контраст при изменении влажности от 4 до 15 % составляет 7 дБ для глинистого и 4 дБ для песчаного грунта. Эти результаты достаточно хорошо совпадают с экспериментальными значениями. Удельная ЭПР пашни с периодическим профилем зависит от ориентации плоскости падения к осям анизотропии, т.е. углом облучения вдоль или поперек борозд.

Расчет  $\sigma^\circ$  лиственного леса основан на моделировании рассеивающего объема плоскими дисками в нижнем полупространстве, каждый из которых характеризуется случайным расположением центра и эвентным углом своей нормали. Если плотность рассеивающих дисков настолько велика, что среднее расстояние любого диска, дающего существенный вклад в удельную ЭПР от верхней границы рассеивающего объема, не превышает расстояния френелевской дифракции, то затухание падающего поля можно не учитывать и перенести все такие диски на целое число длин волн к верхней границе рассеивающего объема с сохранением наклона. Такая модель, как показывают оценки, может быть правомерна при плотностях больших чем 10 дисков диаметром 4 см на  $\text{дм}^3$  объема. Результаты эксперимента удовлетворительно совпадают со средним значением расчетной  $\sigma^\circ$  для лиственного леса в августе месяце в средней полосе. Выбранная выше модель экспериментально подтверждает проведение исследования по оценке влияния многоходовости рассеяния, существование которого делает неправомерным применение подобной модели. Они показали, что распределения запаздывания отраженного лиственным лесом сигнала при разрешающей способности не хуже  $\pm 1$  м при высоте деревьев 15-20 м не обнаруживает затягивания импульса (динамический диапазон при-ёмника был около 30 дБ).

Статистические характеристики (распределение, среднее, дисперсия, корреляционные функции) отраженного сигнала исследовались с помощью различных методов измерения. Для изучения корреля-

ционных зависимостей с целью уменьшения временного интервала регистрации исключалось накопление отраженного сигнала, в то же время для исследования среднего принимались меры для эффективного подавления его временных флуктуаций, при этом каждый элемент разложения радиолокационного изображения регистрировался как результат усреднения 16 некоррелированных отсчетов уровня сигнала, полученных от перекрывающихся участков местности. Таким образом имеющиеся на радиолокационном изображении флуктуации яркости могут трактоваться как пространственные, присущие данному типу ландшафта, по крайней мере в тех случаях, когда их стандартное отклонение превышает 1-2 дБ. Для уменьшения погрешности привязки распределения или различия в средних уровнях считались адекватными лишь в тех случаях, когда они были получены в течение одного опыта, в крайнем случае одного дня. Сопоставляя результаты этих исследований можно заключить, что значимое различие в средних между ландшафтами (включая поселки с приусадебными участками и т.п.) практически отсутствует в диапазоне углов от 30° до 60° в летний период, исключение составляет "гладкие" поверхности, такие как бетон и крупные угловатые образования современных промышленных и городских объектов.

При исследовании одномерной корреляционной функции для анализа двумерного радиолокационного изображения учитывалось, что условия облучения различны в разных направлениях относительно направления полета.

Анализ результатов обработки показал, что из статистических характеристик в летний период при углах зондирования от 30° до 60° лишь дисперсия имеет более или менее значимые различия в радиолокационном изображении различных ландшафтов.

Исследование сезонной устойчивости контрастообразующих признаков различных участков земной поверхности производилось по РД-изображениям, полученным в разных сезонах в течение ряда лет. Естественно, что кроме сезонных вариаций фенофаз, температуры, осадков и т.п., в динамику изменения сезонной устойчивости РД-изображений входят как физическое развитие природных ландшафтов, так и антропогенное воздействие на различные участки земной поверхности (прокладка каналов,

ЛЭП, вырубка лесов, строительство различных объектов и т.п.). Поэтому, когда рассматривается сезонная устойчивость радиолокационных характеристик участков земной поверхности в течение ряда лет, необходимо помнить о возможности такого "мгновенного" (по отношению к большому промежутку времени) воздействия на участки земной поверхности, имеющих в естественных условиях высокую сезонную устойчивость на протяжении длительного периода.

В качестве меры сезонной устойчивости контрастообразующих элементов участков земной поверхности в наших исследованиях использовался коэффициент корреляции, подсчитываемый при совмещении опорного и текущего РЛ-изображения исследуемого участка земной поверхности. Такой анализ проводился по фрагменту изображения, представляющего собой квадрат со стороной 9 x 9 элементов разложения, путем совмещения опорного (эталонного) с текущим (исследуемым) РЛ-изображением. В качестве опорных было выбрано 5 фрагментов.

Все они были выбраны на РЛ-изображениях, полученных 23.08.84г. Фрагменты Н1 и Н2 расположены в сосновом лесу; фрагменты К1 и К2 в лиственном лесу; фрагменты Н1 и К1 имеют хорошо заметные контрастообразующие элементы (просеки); фрагменты Н2 и К2 визуальных особенностей не имеют. Фрагмент П расположен в середине пахотного поля и никаких видимых примет не имеет. Такой набор фрагментов позволял оценить сезонную устойчивость контрастообразующих элементов и контрастов удельной ЭПР ряда типичных участков лесных и полевых ландшафтов земной поверхности.

При вычислении коэффициентов корреляции использовались параллельный перенос и вращение опорного фрагмента относительно исследуемого РЛ-изображения; следует заметить, что по условиям полета РЛ-изображения, полученные в разных опытах, могли отличаться продолжим масштабам, направлением осей координат и степенью (и знаком) их отклонения от прямоугольности из-за изменения скорости и угла сноса ЛА.

Изменение направления осей координат компенсировалось при совмещении, вращением фрагмента до  $\pm 20^\circ$ ; косоугольность координат и разномасштабность, как правило, не компенсировались.

Взаимное полевение изображений, при котором коэффициент корреляции

ляции достигал максимума визуально проверялось обработчиком, для чего все опорные фрагменты имели внутри себя или в непосредственной близости ясно видимые ориентиры, обеспечивавшие надежную визуальную привязку фрагмента (сразу отметим, что максимум коэффициента корреляции всегда совпадал с точным совмещением опорного и исследуемого фрагмента). В таблице № 1 приведены подсчитанные таким образом максимальные коэффициенты корреляции, указаны обозначения фрагментов и дата произведения опытов. В последней строке выписаны среднее значение максимальных коэффициентов корреляции для фрагментов.

Таблица 1

## Коэффициенты корреляции

	Н1	Н2	К1	К2	П
1984 г.					
23+28.08	0,770	0,353	0,803	0,304	0,318
			0,782	0,595	0,312
27+30.08	0,723	0,350	0,773	0,571	0,334
	0,665	0,427			
	0,603	0,285			
12+20.11	0,708	0,385	0,621	0,396	0,331
	0,701	0,364	0,540	0,413	
1985 г.					
26+27.02	0,475	0,372	0,502	0,558	0,270
	0,659	0,345	0,586	0,356	0,348
	0,472	0,314			

Продолжение таблицы № 1

	Н1	Н2	К1	К2	П
13+15.03	0,602	0,364	0,676	0,535	0,316
			0,444	0,360	0,296
			0,462	0,387	0,324
			0,448	0,396	
19+24.04	0,680	0,293	0,543	0,511	0,384
	0,710	0,404	0,710	0,428	0,459
1986 г.					
20+28.05	0,685	0,257			0,364
	0,744	0,298			0,436
	0,647	0,345			0,346
	0,696	0,316			0,251
	0,741	0,481			0,326
	0,749	0,265			0,361
	0,724	0,352			0,394
	0,660	0,267			0,285
М	0,706	0,362	0,607	0,447	0,337

Анализируя данные приведенные в таблице № 1 можно отметить сравнительно высокие средние значения коэффициентов корреляции для фрагментов Н1 и К1, т.е. фрагменты с пересечением просек имеют высокую сезонную устойчивость (особенно Н1).

Сезонная устойчивость контрастообразующих элементов лиственного леса, определенная по фрагменту К1 (пересечение просек в лиственном лесу) имеет тенденцию к снижению в осенне-зимний период, что обусловлено опаданием листьев, но тем не менее значение коэф-

фициента корреляции сравнительно большое и обеспечивает надежное совмещение опорного и исследуемого фрагментов.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Изучены статистические характеристики и контрасты удельной ЭПР типичных участков различных ландшафтов, определена их динамика в течение длительных отрезков времени и в зависимости от физического воздействия окружающей среды; определены периоды устойчивости контрастов. Показано, что временной областью наибольшей изменчивости являются переходные периоды сезонов (появление и сход снежного покрова, развитие и сброс листвы и т.п.), особенно переход зима-весна.

2. Определены виды контрастообразующих элементов природных и антропогенных ландшафтов по радиолокационным изображениям; определена их зависимость от угла облучения; изучена их пространственно-временная устойчивость в разные сезоны года.

3. Исследована временная устойчивость контрастов и контрастообразующих элементов природных и антропогенных ландшафтов при их разных физических состояниях.

4. Обнаружен ряд предполагавшихся эффектов резкого изменения удельной ЭПР ряда поверхностей при воздействии температур, гидрометеоров и т.п., связанные с фазовым переходом агрегатного состояния свободной воды и соответствующем ему переходом механизма рассеяния от объемного к поверхностному и обратно.

Важные для дальнейшей разработки методов радиокартографирования экспериментальные результаты получены благодаря применению специальных методик исследования с борта ЛА, позволивших обеспечить высокую достоверность и точность измерений при охвате большого промежутка времени и многообразия ландшафтов.

## ПУБЛИКАЦИИ, ОТРАЖАЮЩИЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ :

1. Андреев Г.А., Захарев Б.Д., Колесников В.Г., Черная Л.Ф.  
Исследование рассеивающих свойств земных покровов в миллиметровом диапазоне радиоволн. Изв. вузов. Радиофизика, 1981г., N 4,

469400

2. Замаев Б.Д., Колесников В.Г. Распространение радиоволн в миллиметровом диапазоне радиоволн. Сб. "Распространение и дифракция радиоволн в мм и суб.мм диапазонах". Киев, Наукова думка, 1984г.
3. Колесников В.Г., Замаев Б.Д., Васильев В.Ф. Использование бетонного покрытия в качестве эталона при измерениях удельных ЗПР с борта летательного аппарата. Сб. "Распространение и дифракция радиоволн в мм и суб. мм диапазонах". Киев, Наукова думка, 1984г.
4. Колесников В.Г., Замаев Б.Д., Васильев В.Ф. Приведение радиолокационного изображения к изохристному виду. Тем. сб. ХАИ "Пространственно-временная обработка сигналов в радиосистемах", 1985, г. Харьков
5. Колесников В.Г., Замаев Б.Д., Васильев В.Ф. Оценка удельной ЗПР листового леса в миллиметровом диапазоне радиоволн. Тем. сб. ХАИ "Пространственно-временная обработка сигналов в радиосистемах", 1985, Харьков.
6. Замаев Б.Д., Васильев В.Ф., Колесников В.Г. и др. Отчет по НИР " Исследование радиолокационного отражения от различных ландшафтов земной поверхности ". ИРЭ АН Украины, Харьков, 1985.
7. Колесников В.Г., Замаев Б.Д., Велитченко В.Г. и др. Оценка зависимости удельной ЗПР от угла места визирования. Тем. сб. ХАИ "Пространственно-временная обработка сигналов в радиосистемах", 1986, Харьков.
8. Замаев Б.Д., Колесников В.Г., Васильев В.Ф. и др. Короткопериодическая изменчивость удельной ЗПР из волн в мм в летнее время. Киев, Наукова думка, 1987.
9. Колесников В.Г., Замаев Б.Д., Васильев В.Ф., Павельев В.А. Некоторые особенности дистанционного зондирования окружающей среды в длинноволновой части мм диапазона. Докл. 10-го Всесоюзного симп. по распротр. и рассеиванию радиоволн в мм диапазоне, Харьков, 1989.

Цитируемая литература :

1. Радиолокационные методы исследования Земли / Под ред. В.А.Мельника. - М., Сов.радио, 1980, -262 с.

Подп. в печ. 25.11.92г. Формат 60x84/16.

Бум. офс. Офс.печ. Усл. печ.л.1.3. Уч.- изд.л.1.5.

Тираж 100 экз. Заказ 122

Бесплатно

Ротапринт ИРЭ АН Украины

Харьков- 85, ул.Академика Проскуры, 12