

УДК 621.371

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОТЕПЛОВЫХ КОНТРАСТОВ ОБЪЕКТОВ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Л. И. Федосеев, Р. П. Быстров, А. Д. Краснянский, И. В. Кузнецов, Ю. В. Лебский,
В. А. Мальцев, А. А. Швецов, А. П. Шкаев, А. М. Штанюк

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Получена 13 декабря 2010 г.

Аннотация. Приводятся результаты аппаратурно-методических разработок и измерений радиотепловых контрастов местности и объектов на ее фоне в миллиметровом диапазоне длин волн. Затрагиваются вопросы формирования, систематизации и прогнозирования радиотепловых контрастов.

Ключевые слова: радиотепловой контраст, миллиметровые волны, собственное излучение, приемная аппаратура, флуктуация, атмосфера, радиотепловой фон, радиометр.

Начатые еще в 40-е годы наблюдения собственного СВЧ излучения атмосферы Земли впервые были проведены в 1946 г. Р. Дайком. Подробные исследования селективных излучений атмосферных составляющих выполнены В.С. Троицким, С.А. Жевакиным.

В 50-е годы продолжено успешное освоение диапазона миллиметровых волн вскоре привело к созданию уникальных источников излучения – ЛОВ, высокочувствительной неохлаждаемой радиоастрономической приемной аппаратуры, высокоточных зеркал и т.д. на волны вплоть до 1 мм.

Позднее проведены работы по электродинамическим и статистическим расчетам спектральных и пространственных характеристик радиотеплового излучения газообразных сред и сред, ограниченных гладкими поверхностями. Развита представления о механизмах флуктуации интенсивности

радиотеплового излучения. Методики измерений СВЧ излучений разработаны с учетом требований научных и прикладных исследований.

Использование всего этого позволило получить обширный набор данных по атмосферному поглощению и излучению. Естественно встал вопрос и о применении перечисленного выше в прикладных исследованиях, радиотеплолокационных, в частности. Если первые работы в этой области имели целью получение данных для оценки степени реализуемости возможных применений радиотеплолокационных систем в условиях непривычно большого с точки зрения того времени поглощения, то последующие были направлены на выявление связи главной радиометрической характеристики объекта – его яркостного контраста с характеристиками фона и атмосферы, сильно зависящими в миллиметровом диапазоне от метеоусловий, времени года и характера местности. Установление такой связи позволило бы решить задачу о прогнозировании контрастов в различных регионах с различными климатическими условиями, а затем и о предельной эффективности в них различного рода радиотеплолокационных систем, оптимизировав при этом их рабочие частоты и другие параметры. Важность такого подхода к исследованиям не утрачена и в настоящее время.

Ниже приводятся результаты аппаратурно-методических разработок и натурных исследований, выполненных группой сотрудников НИРФИ – ИПФ РАН, КБМ (г. Коломна) и 3 ЦНИИ МО СССР.

Введение

Регулярное экспериментальное исследование радиотепловых контрастов объектов военной техники (танк, вертолет, корабль и др.) в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн было начато сотрудниками НИРФИ МВО РСФСР в первой половине 70-х годов прошлого века, а затем продолжено в ИПФ АН СССР и в КБМ. Если первые измерения имели целью получение данных для оценки степени реализуемости возможных применений радиотеплолокационных систем в условиях непривычно большого с точки

зрения того времени поглощения, то последующие были направлены на выявление связи главной радиометрической характеристики объекта – его яркостного контраста с характеристиками фона и атмосферы, сильно зависящими в миллиметровом диапазоне от метеоусловий, времени года и характера местности. Выявление такой связи позволило бы решить задачу о прогнозировании контрастов в различных регионах с различными климатическими условиями, а затем и о предельной эффективности в них различного рода радиотеплолокационных систем, оптимизировав при этом их рабочие частоты и другие параметры. Важность такого подхода к исследованиям не утрачена и в настоящее время, что определяется возможностью использования и его, и полученных с его помощью упомянутых характеристик в дальнейших перспективных разработках, актуальность и необходимость которых, как уже отмечалось, например, в [1], сохраняется до сих пор.

Измерения контрастов и яркостных температур излучения объектов и фонов, выполнявшиеся во все сезоны года [2], проводились в условиях средней полосы Европейской территории России (ЕТР), отдельные исследования – в Закавказье. А исследования только фонового излучения (в основном, неба) – в различные периоды времени года в отдельных пунктах на различных широтах, охватывающих зоны высокогорья (Кавказ, Памир и Тянь-Шань [3]), полярной пустыни, Заполярья, Северо-Западного региона, Дальнего Востока, Крыма, туркменской пустыни [4], - начались еще в 1960 году. Особое место среди таких работ занимает годичный цикл ежедневных (четырёхразовых) синхронных измерений излучения атмосферы в 2- и 3-миллиметровом окнах прозрачности [5, 6], выполненный в городе Горьком.

Что касается фонового излучения подстилающих поверхностей, то результаты исследования их эффективных температур приведены, например, в [7]. Поэтому ниже мы ограничимся описанием особенностей методики измерений радиоизлучения фонов и объектов, использованной аппаратуры, а

также приведем наиболее интересные полученные результаты, уделив основное внимание контрастам объектов и их систематизации.

Методика измерений

В связи с тем, что поверхность металлических объектов в миллиметровом диапазоне практически не излучает, но хорошо отражает излучение окружающей среды, первые измерения контрастов объектов сопровождались замерахми в широком диапазоне зенитных углов эффективной температуры излучения неба, подверженной сильным изменениям в зависимости от метеоусловий. В [8] было показано, что в случае изотропно рассеивающего объекта, рассматриваемого на фоне ортотропной матовой поверхности (такая модель может быть принята для приближенного описания объектов весьма сложной формы и реальной пересеченной местности), яркостная температура объекта (цели) $T_{цЯ}$ и его яркостный контраст $\Delta T_{цЯ}$ являются функциями так называемой контрастообразующей разностью температур ΔT

$$\Delta T = \overline{T_{нов}} - \overline{T_n}, \quad (1)$$

где, $\overline{T_{нов}}$ и $\overline{T_n}$ - средние яркостные температуры поверхности и небосвода. Если подстилающая поверхность достаточно “черная” с температурой близкой к приземной температуре воздуха T_0 , то

$$\Delta T \approx T_0 - \overline{T_n}. \quad (2)$$

В [8] было показано также, что в широко используемом приближении плоскостной изотермической атмосферы $T_n(30^\circ)$ – яркость неба под углом места 30° - отличается от $\overline{T_n}$ не более чем на 18%. Поэтому при ясном небе или равномерной облачности систематизация яркости и контрастов объектов, а также и участков местности с достаточной для практики точностью может быть выполнена с использованием величины $T_0 - T_n(30^\circ)$ в качестве контрастообразующей разности температур (подробнее в [9]).

В остальном методика измерений не отличалась от традиционной: использовались методы “наведения-отведения” и “упреждения”. Наведение

антенны на объект осуществлялось с помощью оптического визира, ось которого предварительно совмещалась с осью диаграммы направленности антенны. В условиях отсутствия видимости объекта (ночь, туман, снегопад) наведение производилось либо по координатам (если объект находился в заранее заданном положении на трассе), либо непосредственно по выходному сигналу.

Приращение температуры антенны T_A , наводившейся на объект (цель) $T_{цА}$, над уровнем эффективной температуры фона T_ϕ или антенный контраст объекта

$$\Delta T_A = T_{цА} - T_\phi \quad (3)$$

всякий раз сравнивалось с приращением выходного сигнала радиометра, вызванным сигналом от эталонного источника излучения относительно опорной области. В первых измерениях в качестве опорной области использовались расположенные под углом, близким к углу Брюстера, затененная стена здания или участки сухой земной поверхности, температура излучения которых принималась равной температуре окружающего воздуха, а в качестве эталонного – излучение газоразрядной трубки, предварительно прокалиброванной по излучению атмосферы (потери в антенне и в тракте учитывались при этом автоматически). В дальнейшем калибровка производилась по излучению двух согласованных нагрузок, находящихся при температуре окружающей среды и кипящего азота, полностью перекрывающих апертуру антенны, аналогично тому, как это было сделано в [10]. В этом случае антенный контраст объекта исследования ΔT_A связан с показаниями выходного прибора радиометра α_u , α_ϕ , α_0 и α_k при антенне, наведенной на объект, на фон, а также на “теплую” и на “холодную” нагрузки, соответственно, а также с эффективными температурами излучения этих нагрузок T_0 и T_k простым соотношением

$$\Delta T_A = (T_0 - T_k) \frac{\alpha_u - \alpha_\phi}{\alpha_0 - \alpha_k} \quad (4)$$

В свою очередь антенный контраст объекта связан с его яркостным контрастом $\Delta T_{цЯ} = T_{Я} - T_{ф}$ выражением

$$\Delta T_{цЯ} = \Delta T_{цЯ} (1 - \beta_{эл}) e^{-\Gamma_{ц}} \frac{\Omega_{ц}}{\Omega_{эл}}, \quad (5)$$

где $\Omega_{ц}/\Omega_{эл}$ - отношение телесных углов цели (объекта) и главного лепестка диаграммы направленности антенны, $\beta_{эл}$ - коэффициент рассеяния вне него; $e^{-\Gamma_{ц}}$ - поглощение на трассе объект – антенна. Диаграмма направленности и коэффициент рассеяния $\beta_{эл}$ предварительно исследовались радиоастрономическими методами по Луне. Соотношение телесных углов $\Omega_{ц}/\Omega_{эл}$ определялось путем графического интегрирования с использованием сделанных синхронно с измерениями радиоконтраста фотоснимков объекта. При этом проекция поперечного сечения главного лепестка диаграммы разбивалась на пять колец, соответствующих пяти уровням принимаемого излучения (1-центр; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2). Поглощение на пути до объекта определялось по формуле

$$\Gamma_{ц} = \left(\frac{\Gamma_{к}}{H_{к}} + \frac{\Gamma_{0} - \Gamma_{к}}{H_{в}} \right) R, \quad (6)$$

где Γ_{0} - измеренное в данном сеансе наблюдений значение полного вертикального поглощения, $\Gamma_{к}$ - полное вертикальное поглощение в кислороде, $H_{к}$ и $H_{в}$ - эффективные длины пути в поглощении кислородом и водяным паром, R - расстояние от объекта до антенны. Полное вертикальное поглощение атмосферы определялось из данных измерений радиоизлучения неба по методу “разрезов”, подробно описанному, например, в [11, 3], или по методу абсолютной калибровки [10] в предположении плоскостлой биэкспоненциальной модели атмосферы.

Измерения излучения объектов сопровождалось замерах излучения неба (“разрезы”), подстилающей поверхности, температуры воздуха и абсолютной влажности приземного слоя воздуха.

Исследование распределения радиояркости объектов и местности осуществлялось методом поточечного сканирования (через $0,5^\circ$) в пределах кадра, полностью вмещающего объект. Так как при этом расстояние до объекта было меньше расстояния, на котором волновой параметр равен 1, то считалось, что измерения ведутся в пределах геометрической оптики, и температура антенны принималась за яркостную температуру соответствующего участка объекта.

Аппаратура

На первых этапах выполнения работ по исследованиям температурных контрастов в коротковолновой части миллиметрового диапазона радиоволн использовалась аппаратура, предназначенная для радиоастрономических исследований, изготовленная ранее в НИРФИ. Это были неохлаждаемые супергетеродинные радиометры со сверхвысокой промежуточной частотой [12, 13], с входными цепями и фильтрами шумов гетеродина на базе интерферометров Цендера-Маха [13, 14], со смесителями на арсенидно-галлиевых диодах с барьером Шоттки [15-17]. В качестве широкополосных малошумящих УПЧ использовались стандартные транзисторные модули.

Во всех случаях радиометры вместе с параболическими антеннами (диаметром 300 мм и более) устанавливались на поворотных устройствах вертикально-азимутального типа, снабженных оптическим видоискателем и фотоаппаратом. Оптические оси этих приборов были совмещены с электрической осью антенны, что позволяло легко наводить антенну в заданную точку и фиксировать на пленке положение и ориентацию объекта исследования.

Первые измерения проводились только на одной поляризации (как правило, - вертикальной). Для двухполяризационных измерений приходилось либо использовать вращатель поляризации на входе приемника, либо просто поворачивать на 90° вокруг оптической оси антенну вместе с входным блоком радиометра (см. рис.1).



Рис.1. Специальное полноповоротное устройство для проведения наблюдений на двух линейных ортогональных поляризациях путем разворота на 90° радиометра вместе с антенной вокруг оптической оси антенны

С 1977 года в Институте прикладной физики РАН начались регулярные исследования с помощью специально разработанного двухдиапазонного радиометрического измерителя ортогональных линейных составляющих поляризации электромагнитного излучения [18]. Основной особенностью его была многофункциональность: прибор работал в двух смежных диапазонах волн $(3,8 \div 3,0)$ мм и $(2,7 \div 1,7)$ мм и в каждом из них имел два идентичных приемных канала, что позволяло проводить одновременные измерения в обоих диапазонах как при одинаковой поляризации, так и при двух взаимно-ортогональных линейных поляризациях сигнала.

Все компоненты входных цепей антенного блока, в том числе переключатели рода работы, модулятор-коммутатор обтюраторного типа, вторичный эталон тепловой калибровки (генератор шума с газоразрядной трубкой [19]), интерферометры Цендера-Маха, используемые в качестве

развязывающих диплексеров и фильтров шумов гетеродина [13, 14], были выполнены на сверхразмерном волноводе с сечением 14×14 мм. Выбор квадратного сечения волновода обусловлен необходимостью одновременного приема вертикальной и горизонтальной линейно поляризованных составляющих сигнала, а выбор размера — удобством сочленения с элементами измерительного комплекта на круглых диэлектрических лучеводах с диаметром 20 мм [20] при настройке прибора.

Соединение квазиоптических компонентов с волноводами стандартного сечения осуществлялось через обычные пирамидальные переходы. Гетеродинами служили лампы обратной волны типа ОВ-14 и ОВ-22 [21], а в смесителях использовались волноводные вставки арсенидно-галлиевых диодов с барьером Шоттки, имеющие согласованный выход промежуточной частоты. Твердотельные усилители промежуточной частоты построены на стандартных усилительных модулях дециметрового диапазона волн с общим коэффициентом усиления ~ 60 дБ, полосой ≥ 400 МГц и шум-фактором ≈ 4 дБ.

Флуктуационный порог чувствительности δT (при постоянной времени выходной цепи $\tau = 1$ с) составлял в лучших точках 3-х и 2-х миллиметрового диапазона 0,17 К и 0,27 К, соответственно.

Аппаратурный комплекс, включавший в себя, кроме антенного блока, блоки дистанционного управления и низкочастотной обработки сигналов, а также прецизионные блоки питания ламп обратной волны, показан на рис. 2.

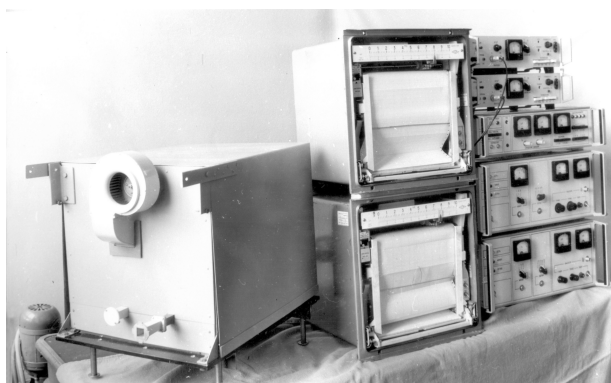


Рис.2. Двухдиапазонный поляриметрический радиометр.

Для проведения измерений антенный блок измерителя вместе с параболическим зеркалом диаметром 300 мм устанавливался на поворотном устройстве вертикально-азимутального типа.

Ширина диаграммы направленности составляла на волне 3,34 мм - 49 мин. дуги, на волне 2,09 мм - 37 мин. дуги. При работе в двухчастотном режиме несовпадение осей диаграммы направленности не превышало 3 угловых минут.

Отметим, что пороговая чувствительность аппаратуры, использованной в экспедициях 1976-1977 г.г. не уступала чувствительности широкополосных супергетеродинных радиометров того времени, разработанных в США (см., например, [5])

Измерения и результаты исследований

Первые измерения радиотепловых контрастов объектов и фонов были выполнены в широком диапазоне длин волн от 1 до 4 мм с крыши НИРФИ (г. Горький) в 1975-1976 годах с целью выяснить на одних и тех же объектах, в каком из трех окнах прозрачности атмосферы (1,3 мм, 2,2 мм или 3,3 мм) радиотепловые контрасты выше. Для этого при углах визирования около 20° ниже горизонта в одних и тех же метеоусловиях наблюдались три объекта: аппаратные прицепы СОН-4, СОН-9 и автомобиль ЗИЛ-158 (фургон). Измерения однозначно показали, что летом использовать 1-миллиметровое окно прозрачности нецелесообразно из-за большого полного вертикального поглощения и, соответственно, малого яркостного контраста, а также из-за больших его вариаций.

Целью следующего этапа исследований (9-24 ноября 1976 г.) было измерение радиотепловых контрастов и эффективных температур образцов военной техники на сложном фоне подстилающей поверхности при больших углах визирования. Для измерений было выбрано место вблизи села Одзун Туманянского района Армянской ССР.

Измерительная установка 3-миллиметрового диапазона (поляризация – вертикальная, чувствительность – $\delta T = 0,2 \text{ К}$, ширина диаграммы

направленности - 49') располагалась на краю плато, круто обрывающегося к ущелью ручья (высота плато над уровнем моря 1050 м). Наблюдавшиеся объекты (танк Т-54, гаубица, автомобили ГАЗ-66 (фургон) и ГАЗ-69), удаленные на расстояние R до 0,5 км, поочередно размещались на грунтовой дороге, проходящей по склону и дну ущелья (рис.3).

На рис. 3 также приведена зависимость эффективной температуры антенны T_A от угла визирования Ψ при сканировании антенны вдоль вертикальной линии, проходящей через стоящий на горной дороге танк. При этом на пунктирной кривой, соответствующей дневным наблюдениям, хорошо виден связанный с присутствием танка "выброс" в сторону меньших температур. Подчеркнем, что величина его уверенно превышает как локальные вариации температуры излучения вдоль линии визирования, так и вариации, связанные с суточным ходом.

На рис.4 кружками показана зависимость антенного контраста танка от его ракурса, а крестами – аналогичная зависимость для ГАЗ-66. Хорошо видно, что, если контраст танка практически не зависит от ракурса, то во втором случае наблюдается "провал", связанный с экранировкой брезентом и деревянными бортами металлических частей автомобиля, отражающих излучение неба. Аналогично антенный контраст гаубицы с бронещитом при развороте ее на 90° изменяется в 3-4 раза. Все это было подтверждено последующими измерениями и в условиях, характерных для равнинной местности. Представление о самих величинах контрастов при наблюдении объектов сверху дает Таблица 1, в которой приведены полученные при полном вертикальном поглощении $\Gamma_0 = 0,36 - 0,48$ дБ усредненные значения контрастов и яркостных температур объектов.

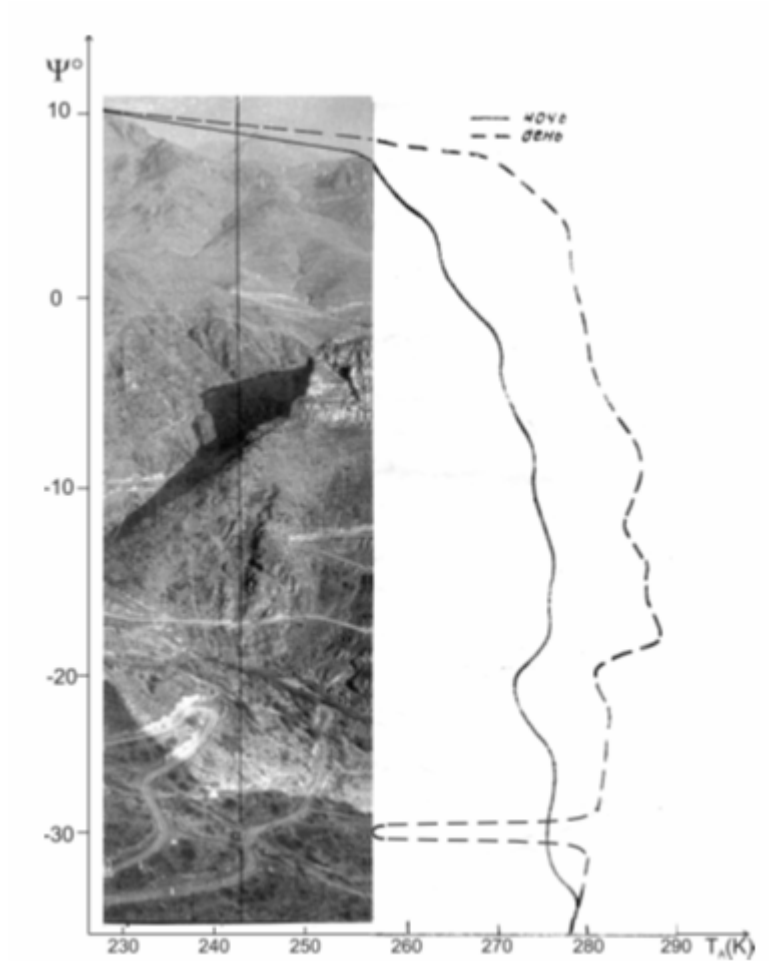


Рис.3. Зависимость эффективной температуры антенны T_{ϕ} от угла места Ψ вдоль вертикальной линии визирования, проходящей через танк на горной дороге.

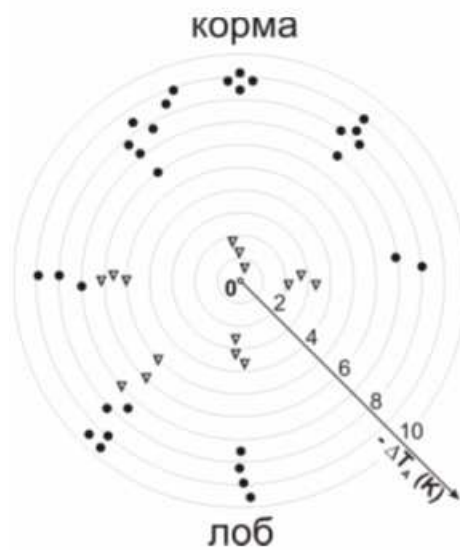


Рис.4. Зависимость антенного контраста танка Т-54 (черные кружечки) и фургона ГАЗ-66 (треугольнички) от ракурса ($\lambda = 3,4$ мм).

Таблица 1

Объект	R , км	ψ	$\Delta T_{цЯ}$, К	$T_{цЯ}$, К
Танк Т-54	0,36	- 28°,5	-119	159
Гаубица	0,33	-32°	-103	176
ГАЗ-66 (фургон)	0,51	-25°	-45	232
ГАЗ-69	0,34	-31°	-77	201

Таким образом, впервые было установлено, что даже в сильно пересеченной горной местности образцы военной техники при наблюдениях на наклонных трассах в трехмиллиметровом диапазоне характеризуются устойчивым отрицательным контрастом, значительно превышающим вариации эффективных температур мелкомасштабных неоднородностей фона как днем, так и ночью. Кроме того было обнаружено резкое изменение выходного сигнала радиометра при прохождении танка со скоростью ≈ 25 км/час через упрежденную точку.

Целью последующих измерений было сравнительное исследование радиотепловых контрастов в 2-х и 3-миллиметровом диапазонах длин волн на наклонных и приземных реальных трассах при различных поляризациях в различное время года и в различных метеоусловиях, выявление количественных характеристик связи величины контрастов с характеристиками контрастообразования. Все эти измерения, начиная с февраля 1977 г. проводились с использованием двухчастотного поляриметрического комплекса [18], устанавливавшегося либо на вышке высотой 18 м, либо перед открытым окном на разных этажах зданий, располагавшихся на различных участках характерной для средней полосы европейской территории России пересеченной местности.

В зону обзора радиометра обычно входили как плоские, так и всхолмленные участки, покрытые травой, кустарником, лесом, пересекаемые дорогами, канавами с водой и широкими просеками, позволяющими проводить наблюдения объектов на дальностях, превышающих километр. Фото одного из

таких участков приведено на рис.5 а. На нем видны и объекты исследования: покрытый брезентом танк Т-55 и плоский алюминиевый лист рядом с ним, корпус вертолета, а также кирпичное строение, дорога, канава с водой и глеющая прошлогодняя трава. На рис.5 б и 5 в приведены синхронно снятые на вертикальной (температура антенны $T_{A\uparrow}$) и горизонтальной (температура антенны $T_{A\rightarrow}$) поляризациях радиотепловые карты этого же участка местности,

а на рис.5 г – степень поляризации $\frac{T_{A\uparrow} - T_{A\rightarrow}}{T_{A\uparrow} + T_{A\rightarrow}}$ (длина волны $\lambda = 3,34$ мм).

Главное, что бросается в глаза на рис5, – это, с одной стороны, хорошо выделяющиеся на общем фоне сигналы от металлических объектов - танка и вертолета - на рис. 5 б и 5 в, с другой, – практически их полное отсутствие на рис. 5 г, что говорит о том, что степень поляризации их излучения не превышает фоновой, составляющей при угле визирования 3 - 4° ниже горизонта не более 0,3 %. При этом следы диэлектрического объекта - кирпичного строения сохраняются и на рис. 5 г., а дорога и канава с водой выделяются еще более четко. Этот факт различия степени поляризации, очевидно, может быть положен в основу распознавания природы тех или иных образований.

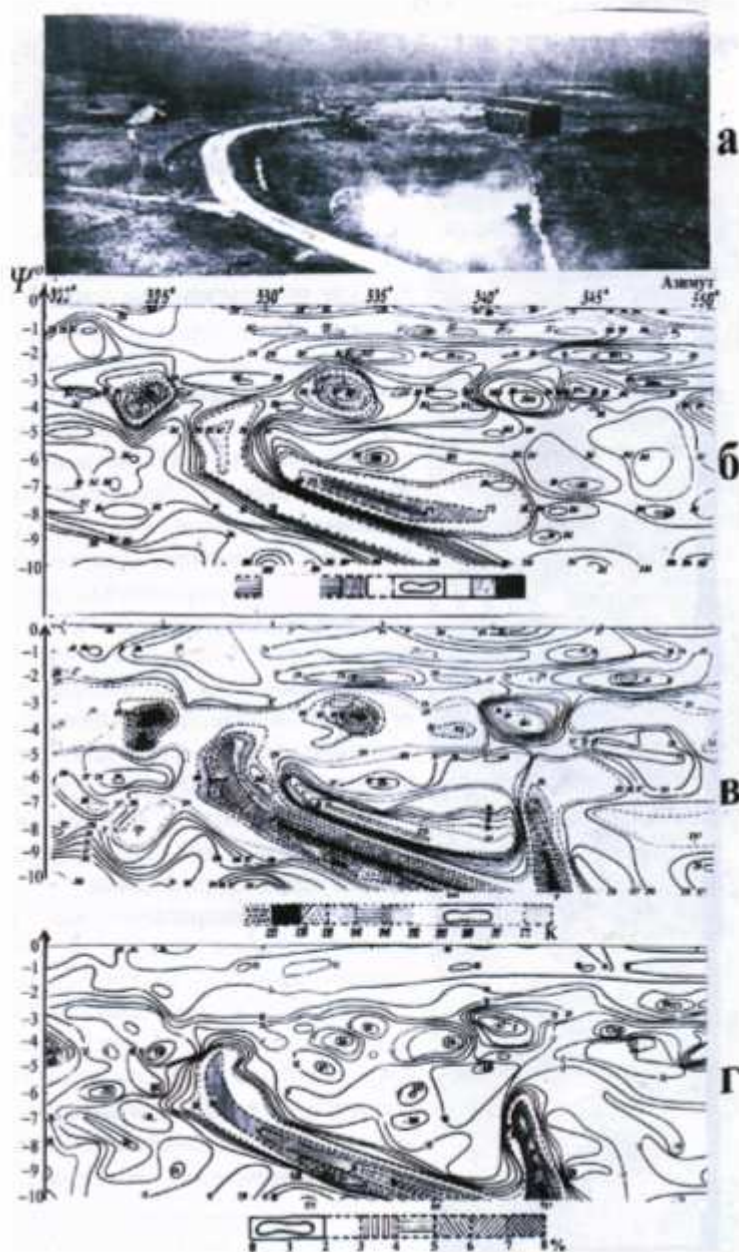


Рис. 5. Фотография и радиотепловые карты этого же участка местности.

Отметим попутно, что, у большинства “полностью металлических” объектов (танков, бронемашин (БРДМ), бронированных тягачей (МТЛБ, АТС) и т.п.) яркостная температура и в 2-х миллиметровом, и в 3-миллиметровом диапазонах слабо зависит от поляризации. Исключение составляют объекты типа некоторых бронемашин и амфибий с занимающим большой телесный угол передним бронелистом, отражающим при малых углах визирования поляризованное излучение подстилающей поверхности. С увеличением угла визирования антенный контраст объектов на вертикальной поляризации может

несколько возрастать из-за поляризации фона. А у объектов с большой плоской горизонтальной поверхностью (БРДМ, МТЛБ) при зондировании, близком к надирному, из-за подсветки более “холодной” призенитной областью неба контраст в летних условиях возрастает почти в 1,5 раза по сравнению со случаем наклонного зондирования.

Что касается влияния ракурса, то, как уже отмечалось выше для танков, при больших углах визирования оно невелико. Невелико также и для объектов типа БРДМ, МТЛБ. При малых же углах (дальность 200 – 700 м) антенный контраст последних объектов, рассматриваемых сбоку, примерно вдвое выше, чем спереди, что скорее всего связано с различием телесных углов целей в этих позициях.

Авторы приносят искреннюю благодарность А.Д.Краснянскому - инициатору настоящей работы, а также А.Г.Кислякову и Ю.А.Дрягину – за участие в постановке задач, обсуждении результатов и коррекции направлений исследований, Б.М.Сандлеру и Л.К.Сизьминой – за вклад в разработку аппаратуры, Е.В.Ганину, В.В.Гришину, А.И.Тюрину и В.В.Юрокину – за участие в измерениях и их обеспечение.

Литература

1. Быстров Р.П., Соколов А.В., Фёдорова Л.В., Чеканов Р.Н. Достижения в освоении миллиметровых и субмиллиметровых волн // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 6. С. 52-78.
2. Ганин Е.В., Кузнецов И.В., Краснянский А.Д., Крюков Г.М., Куликов Ю.Ю., Мальцев В.А., Лебский Ю.В., Сандлер Б.М., Сизьмина Л.К., Федосеев Л.И., Швецов А.А., Шкаев А.П., Штанюк А.М. Измерение радиоизлучения подстилающей поверхности в двухмиллиметровом и трехмиллиметровом окнах прозрачности атмосферы на горизонтальной и вертикальной поляризациях // II Всесоюзный симпозиум по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. Харьков. 1978. Тезисы докладов. Том II. С.172.

3. *Кукин Л.М., Лубяко Л.В., Федосеев Л.И.* Измерение атмосферного поглощения в диапазоне длин волн $\lambda = 1,8 - 0,87$ мм // Известия ВУЗов. Радиофизика. 1967. Т. 10. № 6. С. 747-756.
4. *Борисов О.Н., Кузнецов И.В., Куликов Ю.Ю., В.Г.Рыскин, Федосеев Л.И., Швецов А.А.* Сравнение условий контрастообразования в некоторых физико-географических зонах. // IV Всесоюзная школа по распространению миллиметровых и субмиллиметровых волн в атмосфере. Нижний Новгород. Тезисы докладов. 1991. С. 94 – 95.
5. *Fedoseev L.I., Kuznetsov I.V.* Synchronous measurements of the sky radio emission in the 2- and 3- millimeter wave lengths regions // Intern. J. of Infrared and Millimeter Waves. 1980. V. 1. No 3. Pp. 373-387.
6. *Кузнецов И.В., Федосеев Л.И.* Сравнительное исследование контрастообразующей разности температур в 2- и 3-миллиметровом окнах прозрачности атмосферы. III Всесоюзный симпозиум по мм и субмм волнам. Горький. Тезисы докладов. 1980. Т.1. С.291-292.
7. *Kuznetsov I.V., Fedoseev L.I, Shvetsov A.A., Bistrov R.P.* Radiation Properties of the Natural Objects in the Millimeterwave Region // MSMV'07 Symposium Proceedings. Kharkov, Ukraine. June 25-30, 2007. V.1. Pp.430-433.
8. *Федосеев Л.И., Швецов А.А.* К описанию радиотепловых контрастов // II Всесоюзный симпозиум по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. Харьков. 1978. Тезисы докладов. Т. II. С.170-171.
9. *Федосеев Л.И., Швецов А.А.* Формирование радиотепловых контрастов объектов в миллиметровом диапазоне длин волн // Журнал радиоэлектроники, № 7, 2010.
10. *Кисляков А.Г., Чернышев В.И., Лебский Ю.В., Мальцев В.А., Серов Н.В.* Эффективная температура космического реликтового излучения на волне 3,58 мм // Астрон. ж. 1971. Т.48. Вып. 1. С.39.
11. *Кисляков А.Г.* Об измерении поглощения радиоволн в атмосфере по ее тепловому излучению // Радиотехника и электроника. 1968. Т.13. №7. С.1161.

12. *Кисляков А.Г., Лебский Ю.В., Наумов А.И.* Широкополосные супергетеродинные радиометры миллиметрового диапазона волн. // Изв. высш. уч. зав. – Радиофизика. 1968. Т. 11. №12. С. 1791
13. *Федосеев Л.И., Куликов Ю.Ю.* Супергетеродинные радиометры миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн // Радиотехника и электроника. 1971. Т.16. № 4. С. 554.
14. *Дрягин Ю.А., Кукин Л.М., Лубяко Л.В.* К вопросу о подавлении шумов гетеродина в супергетеродинных приемниках с высокой промежуточной частотой. // Радиотехника и электроника. 1974. Т. 19. № 8. 1779.
15. *Воронов В.Н., Гинзбург А.Д., Наумов А.И., Павельев Д.Г., Ускова В.М., Федосеев Л.И., Швецов А.А.* Некоторые результаты применения диодов с барьером Шоттки в смесителях радиометров диапазона волн 0,9÷3,8 мм. // Изв. высш. уч.зав. – Радиофизика. 1973. Т. 16. № 7. С. 1125.
16. *Гришин О.Ф., Лебский Ю.В., Мальцев В.А., Мезенцев В.П., Шкаев А.П., Божков В.Г., Тевелевич В.М.* Смесительные диоды миллиметрового диапазона волн с выходом на сверхвысокую промежуточную частоту. // Техника средств связи. Сер. «РИТ». 1976. Вып. 1. С. 52.
17. *Калиниченко В.Н., Лебский Ю.В., Мезенцев В.П., Тевелевич В.М., Федосеев Л.И., Штанюк А.М.* Супергетеродинный радиометр на диапазон частот 75 ÷100 ГГц. // II Всесоюзная школа-семинар по радиоприемным устройствам СВЧ. Ереван. 1974. Тезисы докладов. С. 125.
18. *Лебский Ю.В., Мальцев В.А., Сандлер Б.М., Сизьмина Л.К., Федосеев Л.И., Федоров А.Н., Шкаев А.П., Штанюк А.М.* Радиометрический измеритель ортогональных линейных составляющих поляризации электромагнитного излучения. // II Всесоюзный симпозиум по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. Харьков. 1978. Тезисы докладов. Т.1. С. 214.
19. *Лебский Ю.В., Мальцев В.А., Сандлер В.М.* Генератор шума. Авторское свидетельство на изобретение № 849416, опубл. 23.07.1981 в Бюлл. изобретений и открытий № 27, 1981.