

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

д. ф.-м. н. А. Г. Горелик

ФГУП «Гидрометпоставка», г. Долгопрудный МО, radiometeo@mail.ru

В настоящее время специализированные метеорологические радиолокаторы широко применяются в различных областях метеорологии (включая авиационную), физики атмосферы, экологии, в службе штормоповещения, гидрологии. Велика ее роль и в решении проблем связанных с распространением радиоволн и радиосвязи.

Начало работ в области применения импульсной радиолокации для решения метеорологических задач относится к концу 40-х началу 50-х годов прошлого столетия, и было тесно связано с созданием радиолокационных станций 3-10 см диапазона длин волн, предназначенных для своевременного дистанционного обнаружения местоположения самолетов и кораблей противника на возможно больших удалениях [1,2].

Применение в метеорологии радиолокаторов работающих в пассивном режиме, принцип действия которых основан на приеме собственного теплового излучения атмосферы, относится к концу 50-х началу 60-х годов прошлого столетия [3,4].

Особую значимость для исследования облачности и осадков в метеорологии приобрела разработка методов, основанных на совместном применении активно-пассивных комплексов, в состав которых входят метеорологический радиолокатор, работающий в активном режиме, и микроволновая радиометрическая аппаратура

Создание таких комплексов было осуществлено совместно ИРЭ АН СССР и ЦАО в середине 60-х годов прошлого столетия [5].

Отечественные и зарубежные работы по радиолокационной метеорологии базируются на большом объеме теоретических исследований и расчетов поперечников рассеяния и ослабления облачными образованиями и осадками в виде дождя и града для широкого диапазона длин волн. Такие исследования были выполнены в Англии Райдом еще до и вовремя второй мировой войны [1], т.е. до 1945г.

Первые теоретические работы, объясняющие физическую природу быстрых флуктуаций интенсивности рассеянного поля, так же относятся к середине 40-х годов прошлого столетия [1,2]. Эти работы послужили основой для дальнейшего развития исследований в этом направлении [6,7] и заложили основы нового направления в радиолокационной метеорологии, а именно статистической радиолокационной метеорологии, включая доплеровскую радиолокационную метеорологию [8,9].

За прошедшие 60-65 лет радиолокационная метеорология в мире получила бурное развитие. Достаточно указать, что в США каждые 1,5-2 года, регулярно проводятся радиометеорологические конференции. Инициаторами и вдохновителями в области применения радиолокации в метеорологии, являлись такие ведущие специалисты Американского метеорологического общества, и занимающие в нем руководящие посты, как Л. Баттан, Д. Атлас, Е. Госсард и др. [10,11, 12].

В настоящее время резко расширился круг задач, который пытаются решить при помощи радиолокации. Так помимо традиционных направлений, связанных с изучением процессов протекающих в различного типа и масштаба облачных образованиях и системах, появилось направление, связанное с изучением «тонкой структуры» и безоблачной атмосферы, недоступной для исследования при помощи иных средств и методов.

Особое место занимают в настоящее время радиолокационные исследования динамических процессов протекающих на различных высотах в свободной атмосфере, включая не только тропосферу, но и стратосферу, и нижние слои мезосферы [10].

Такое расширение направлений, по которым развивается современная радиолокационная метеорология, стало возможным за счет резкого увеличения потенциала радиолокационных станций, их установки не только на Земле, но и на самолетах, спутниках, расширения

диапазона длин волн, в котором могут работать метеорологические радиолокаторы (от $3 \cdot 10^{-3}$ до 6 метров) [10,12]. Были созданы доплеровские и поляризационные радары [13]. Широкое применение получили активно-пассивные системы радиолокации, одновременно работающие в широком диапазоне длин волн. Особенное значение приобрело введение в состав активно-пассивных радиолокационных комплексов и мощных оптических лидаров открывающих новые возможности для изучения процессов протекающих в облачных системах на различных стадиях их развития и приводящих к образованию и выпадению различных типов осадков (дождя, крупы, града и снега).

Получаемый при помощи радиолокаторов колоссальный объем информации требует, для ее обработки и применения ультрасовременной вычислительной техники и современного программного обеспечения. Особенность применения вычислительной техники в радиолокационной метеорологии состоит в том, что первичная обработка и возможность её экспресс анализа особенно в оперативной работе, должны осуществляться непосредственно в информационной радиолокационной системе, причем в реальном масштабе времени.

В процессе своего бурного развития радиолокационная метеорология подошла к этапу, характеризующемуся тем, что она может и должна не только выполнять «наблюдательные» функции, но и превращается в настоящую измерительную систему. Измерения того или иного метеорологического параметра осуществляется с указанием достоверности и точности его измерения. И в конечном итоге полученные результаты предоставляются в величинах, которыми обычно пользуются метеорологи или специалисты занимающиеся изучением строения и динамических процессов, протекающих в атмосфере.

Сложность решения задачи в такой постановке состоит в том, что информация, полученная при помощи метеорологических радаров настолько объемна и неоднозначна, что ее очень сложно сопоставить с данными, которые получены при помощи традиционных метеорологических приборов и обычно применяемой методики измерений. Поэтому проблемы постановки таких сравнительных измерений требуют к себе особого внимания и в конечном итоге приводят к удивительным результатам [14].

Еще раз подчеркну, что переход от параметров, которые определяются при помощи метеорологических радиолокаторов, например «средней» мощности отраженного сигнала, параметров характеризующих переменную составляющую рассеянного поля или его интенсивности, а также изменения поляризационных параметров отраженного сигнала, относительно излученного, зависит не только от параметров самого радиолокатора, длины волны, на которой он работает, но и удаления, на котором находится облучаемый метеорообъект, его микроструктуры и протекающих в нем динамических процессов, от времени, в течение которого обрабатывается и анализируется принимаемый сигнал.

Оперативный учет перечисленных выше факторов и переход непосредственно к метеорологическим параметрам, очень сложен, а во многих случаях с указанием точности и достоверности такого перехода вообще невозможен.

Для того, чтобы исключить влияние потенциала радиолокатора Π и удаление до метеорообъекта R , и характеризовать непосредственно метеорообъект, вводят понятие удельной радиолокационной отражаемости и радиолокационной отражаемости Z .

η - имеет размерность $1/m$,

$$Z = \sum_1^N N_i D_i^6 \quad [m^3] \text{ или } [mm^6/m^3],$$

где D_i - диаметр i – й рассеивающей частицы.

Рассчитанные значения Z могут существенно отличаться от измеренных значений Z_e .¹

Различие между Z и Z_e может быть связано с тем, что используемая при расчетах модель, может существенно отличаться от реальной, и возникающими погрешностями при проведении

¹ Отметим, что обычно потребителям метеорологическая информация выдается в значениях Z . И именно Z связывается с интенсивностью выпадающего на землю дождя J . $Z_e = AJb$, где A и b численные коэффициенты, связанные с интенсивностью дождя.

измерений.

Даже при самых тщательных измерениях полученные радиолокационные результаты могут существенно расходиться с теми, которые получили контактными методами. Возникающие при таком сопоставлении данных измерений проблемы более подробно обсуждаются в [15].

На рис. 1 представлена схема, показывающая влияния различных факторов на величину $\bar{P}_{отр}$, спектра рассеянного поля $g\left(\frac{\lambda}{2}F\right)$ и спектр флуктуаций интенсивности рассеянного поля $G\left(\frac{\lambda}{2}\Delta F\right)$ (выходы синхронного и квадратичного детектора, соответственно). Их можно разделить на три большие группы:

I. **Технические параметры радиолокатора** - режим работы радиолокатора, длительность зондирующего импульса, рабочая длина волны, вид детектирования, амплитудная характеристика приемника.

II. **Факторы, связанные с методикой проведения измерений** - удаление до исследуемого объема, направление зондирования, также скорость обзора пространства, приводящая к смене рассеивающих частиц и уширению спектра.

III. **Метеорологические и геофизические факторы** - микроструктура и фазовое состояние, градиент, скорость и направление ветра, мелкомасштабная турбулентность и вертикальные воздушные потоки, водность и микроструктура метеообразования.

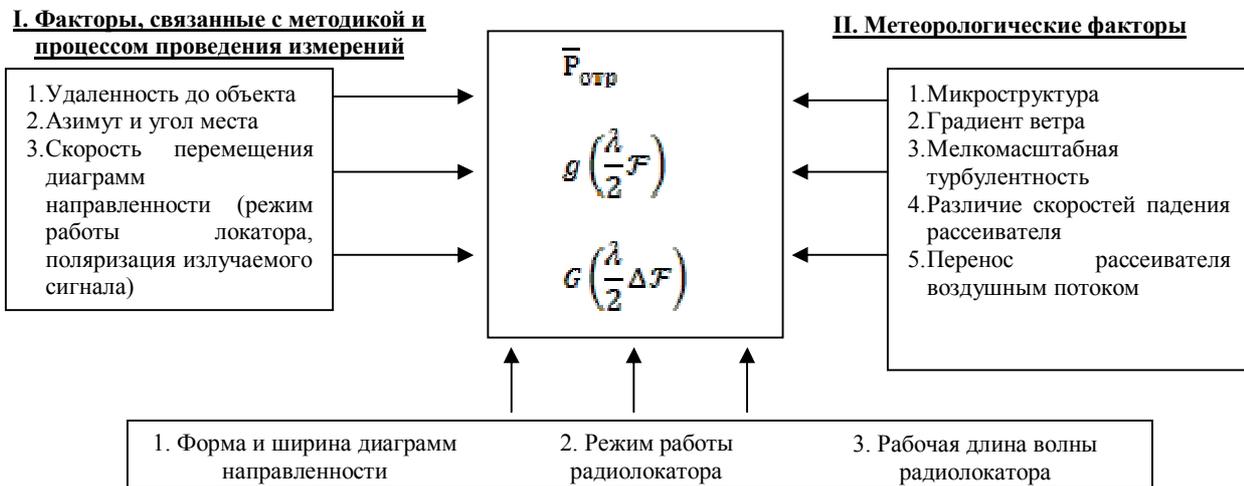


Рис.1 Факторы, влияющие на величину принятого сигнала, $\bar{P}_{отр}$ на форму спектра рассеянного поля $g\left(\frac{\lambda}{2}F\right)$ и форму спектра интенсивности рассеянного поля $G\left(\frac{\lambda}{2}\Delta F\right)$.

На рис. 2 представлена диаграмма, иллюстрирующая основные факторы, определяющие надежность и достоверность количественной информации о метеообъектах, получаемой с использованием радиолокационных средств на различных расстояниях. Эта диаграмма носит условный характер, т.к. надежность и достоверность количественной информации о метеообъекте существенно зависит как от применяемых методов измерений и параметров радиолокационно-технических средств, так и от алгоритмов обработки информации. Общее правило: с увеличением расстояния измерительные возможности радиолокатора уменьшаются, но сохраняется его наблюдательная и обнаружительная способность.

Измерительные функции радаров существенно зависят от угла места антенны. Измерения, выполненные в режиме вертикального зондирования, обычно легче поддаются геофизической интерпретации, по сравнению с теми данными, которые получены при наклонном зондировании.

Наиболее достоверная интерпретация данных радиолокационного зондирования метеообразований возможна на удалениях до нескольких километров при наличии достоверной информации о микроструктуре и строении метеообразования. Подобная информация может

быть получена с использованием мультипараметрических измерений, включая многоволновые радиолокационные, радиометрические и контактные измерения.

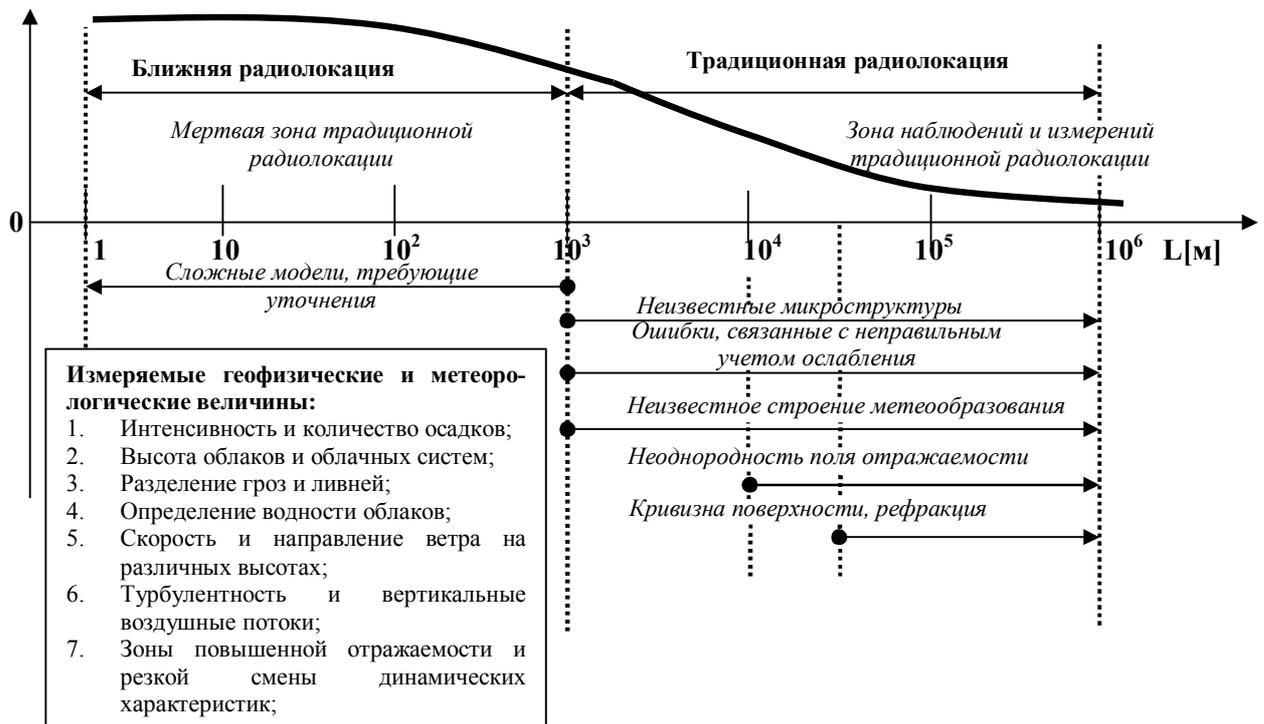


Рис.2 Достоверность интерпретации радиолокационных данных в терминах геофизических и метеорологических величин дистанции зондирования и основные факторы, влияющие на достоверность и точность измерений.

Критический анализ материалов содержащихся в периодических изданиях и трудах отечественных и зарубежных конференций 70-80-х годов, посвященные развитию исследований в области радиолокационной метеорологии, позволяют утверждать, что уровень оригинальных работ в различных областях этой науки не уступал, а часто превосходил, уровень исследований выполненных в те же годы за рубежом. Отечественные работы имели свое научное лицо.

Это относится к области теории объясняющей связь между «тонкой структурой» радиозаха и движением рассеивателя в изучаемом метеообъекте, комплексном исследовании процессов протекающих в облачных системах, которые опирались на совместную обработку и анализ одновременно полученных при помощи активно-пассивных систем работающих в различных диапазонах длин волн, включая ИК-радиолокаторы и оптические лидары.

Первая отечественная система зондирования, осуществляющая с помощью ЛЧМ радиолокатора и RASS представляющая единый измерительный комплекс, была создана раньше, чем аналогичные зарубежные системы.

Следует отметить работы связанные с установкой доплеровских радаров на самолеты для исследований мощнокучевой и кучеводождевой облачности и принципов, приводящих к образованию и выпадению града [16].

С этим моим утверждением согласен и Д.Атлас, который после ознакомления с нашими работами высоко оценил их научный уровень работ и потенциал отечественных ученых работающих в области радиолокационной метеорологии.

С середины 80-х годов научно-исследовательские работы в нашей стране в области радиолокационной метеорологии резко замедлились, что привело к значительному отставанию исследований от аналогичных зарубежных исследований².

Это в первую очередь относится к разработке ветрового профайлера [10,15], созданию серийных доплеровских и поляризационных радаров, и проведение при их помощи исследований облачности, осадков, а также миллиметровых самолетных облачных радаров работающих в диапазоне длин 3-8мм.

В заключении мне хотелось бы вспомнить имена отечественных ученых работавших в ЦАО, ИРЭ АН СССР, ГГО, ВГИ, НИРФИ которых уже нет среди нас, которые внесли огромный вклад в становлении и развитии в нашей стране радиолокационной метеорологии, это В.В. Костарев, А.М.Боровиков, М.А.Колосов, А.Е. Башаринов, В.С. Троицкий, Г.С. Горелик, С.А. Жевакин, Е.М. Сальман, А.А. Черников, Г.К. Сулаквелидзе и многие другие, которые вывели в свое время радиолокационную метеорологию на передовые позиции в мире.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kerr D.E. Propagation of Short Radiowaves. Dover Publications Inc. 1951.
2. Skolnik M.J. Introduction to Radar Systems. New-York, McGraw-Hill, 1980.
3. Жевакин С. А., Троицкий В. С. Радиоизлучение атмосферы и исследование поглощения сантиметровых волн. Изв. ВУЗов. Радиофизика, 1, №2, 1958.
4. Жевакин С. А., Наумов А. П. Поглощение сантиметровых и миллиметровых радиоволн атмосферными парами воды. Радиотехника и электротехника, №8, 1964.
5. Башаринов А. Е., Горелик А. Г., Калашников В. В., Кутуза Б. Г. Определение параметров облаков и дождя по радиоизлучению на волне 0,8 см. Тр. ЦАО, вып. 86, 1969.
6. Горелик Г.С. Рассеяние радиоволн на блуждающих неоднородностях. //Радиотехника и электроника, Т2, Вып.6, 1956.
7. Горелик Г.С. О влиянии корреляции скоростей рассеивателей на статические свойства рассеянного излучения.// Радиотехника и электроника, Т.2,Вып.10, 1957.
8. Горелик А.Г., Мельничук Ю.В. О связи спектра флуктуаций сигнала с движением рассеивателей в метеобъектах.//ДАН СССР, Т.140, Вып.3, 1961.
9. Горелик А.Г., Мельничук Ю.В., Черников А.А. Связь статистических характеристик радиолокационного сигнала с динамическими характеристиками и микроструктурой метеобъектов.// Труды ЦАО, Вып.48, 1963.
10. Atlas D/ Radar in Meteorology, Boston, 1991.
11. Gossard E.E. Radar Research on the Atmospheric Boundary Layer, Boston, 1991.
12. Doviak R.J., Zrnic D.S. Doppler Radar and Weather Observation. Academic press, 1984.
13. Bringi W.N., Chandrasekar V. Polarimetric Doppler Weather Radar. Cambridge University Press, 2001.
14. Боровиков А.М., Костарев В.В., Мазин И.П., Исследование облачности радиолокационными методами, Труды ЦАО, Вып.36, 1961.
15. Горелик А.Г., Коломиец С.Ф. Рассеяние радиоволн разряженной средой и статистическая метеорология. Научный вестник МГТУГА. Радиофизика и электроника. Вып. 137, 2006.
16. Абшаев М.Т. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ 1, МРЛ 5, МРЛ 6 в системах грозозащиты. Л., Гидрометиздат, 1980.

² Последняя восьмая конференция по радиолокационной метеорологии была проведена в 1986 г. в г. Суздаль и в течение 20 лет уже не проводилась. Это естественно не могло не сказаться на уровне развития и итогах работ в этом бурно развивающемся направлении.