

ПУТИ РАЗВИТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Корбан В.Х., Корбан Д.В., Дегтярева Л.Н.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г.Одесса, ул. Кузнецкая, 1.
l.demenko@mail.ru*

ШЛЯХИ РОЗВИТКУ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Корбан В.Х., Корбан Д.В., Дегтярьова Л.М.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м.Одеса, вул. Кузнична, 1.
l.demenko@mail.ru*

WAYS OF DEVELOPMENT OF METEOROLOGY AND RADAR WEATHER RADAR EQUIPMENT

Korban V.Kh., Korban D.V., Degtjarjeva L.N.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunicftions,
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.
l.demenko@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены пути развития методов радиолокационной метеорологии при дистанционном обнаружении и распознавании опасных явлений погоды, а также их реализация в метеорологических радиолокаторах. Показаны технические и информационные возможности радиолокационных методов и технических средств получения дистанционной радиометеорологической информации об облаках и связанных с ними опасных явлений погоды одновременно с больших площадей в реальном масштабе времени. Обосновано преимущество дистанционных радиолокационных методов в службе штормоповещения при прогнозе развития грозовых, градовых и ливневых процессов, смерчей, циклонов и атмосферных фронтов. Показана историческая последовательность развития информативности радиолокационных параметров от мощности эхо-сигналов до частицы, фазы и поляризации, их реализация в метеорологических радиолокаторах как некогерентных, так и когерентных, одноволновых и двухволновых. Особая роль с точки зрения получения наибольшей полноты радиолокационной информации о метеообъекте отводится оператору рассеяния, представляющему собой совокупность матриц при каждой поляризации излучаемой электромагнитной волны. Проанализированы исторические пути развития радиолокационных методов и технических средств различными авторами как в нашей стране, так и за рубежом, обоснованы наиболее перспективные дистанционные методы обнаружения и распознавания метеообъектов.

Ключевые слова: радиолокационная техника, активные воздействия, атмосферные процессы, градобития, штормовое оповещение, информативность, алгоритм обработки информации, поляризация, частота, фаза, атмосферные объекты, матрица рассеяния.

Анотація. У статті розглянуті шляхи розвитку методів радіолокаційної метеорології при дистанційному виявленні та розпізнаванні небезпечних явищ погоди, а також їх реалізація в метеорологічних радіолокаторах. Показані технічні та інформаційні можливості радіолокаційних методів і технічних засобів одержання дистанційної метеорологічної інформації про хмари і пов'язані з ними небезпечні явища погоди одночасно з великих площ у реальному масштабі часу. Наведено перевагу дистанційних методів у службі штормопередження при прогнозі розвитку грозових, градових і зливових процесів, смерчів, циклонів та атмосферних фронтів. Показана історична

Корбан В.Х., Корбан Д.В., Дегтярева Л.Н.

153

послідовність розвитку інформативності радіолокаційних параметрів від потужності ехо-сигналу до частоти, фази і поляризації, їх реалізація в метеорологічних радіолокаторах як некогерентних, так і когерентних, однохвильових і двоххвильових. Особлива роль з точки зору одержання найбільшої повноти радіолокаційної інформації про метеооб'єкт відводиться оператору розсіювання, який являє собою сукупність матриць при кожній поляризації випроміненої електромагнітної хвилі. Проаналізовані історичні шляхи розвитку радіолокаційних методів і технічних засобів різними авторами як у нашій країні, так і за кордоном, обґрунтовані найбільш перспективні дистанційні методи виявлення та розпізнавання метеооб'єктів.

Ключові слова: радіолокаційна техніка, активні впливи, атмосферні процеси, градобої, штормове попередження, інформативність, алгоритм обробки інформації, поляризація, частота, фаза, атмосферні об'єкти, матриця розсіювання.

Abstract: The article deals with the development of radar meteorology methods for remote detection and identification of hazardous weather events, as well as their implementation in the meteorological radar. Show technical and information capabilities of radar techniques and technical means of obtaining information on remote meteorological clouds and related hazardous weather phenomena along with large areas in real time. An advantage of distance learning techniques in the service of the forecast storm warnings of lightning, and torrential Gradova processes, tornadoes, cyclones and atmospheric fronts. Shown historical sequence of informative parameters of power radar echo signal to frequency, phase and polarization, their implementation in meteorological radars as incoherent and coherent, single wave and two-wave. A special role in terms of obtaining the fullest extent of meteorological radar data object is given to the operator scattering, which is a set of matrices at each polarization radiated electromagnetic wave. Analyzed historical development of radar techniques and facilities by various authors in our country and abroad, proved the most promising methods of remote detection and identification meteorological facilities.

Key words: radar technology, active exposure, atmospheric processes, hail, storm warning, the information content, information processing algorithm, polarization, frequency, phase, atmospheric objects, scattering matrix.

В настоящее время радиолокационная техника занимает одно из важнейших мест в арсенале технических средств метеорологической службы, что обусловлено особыми возможностями радиолокационных методов метеорологических наблюдений. Основными достоинствами радиолокационных методов является возможность дистанционно получать метеорологическую информацию практически одновременно с больших площадей, при этом не только о расположении зон облачности и осадков, но и об их микроструктуре, а также о протекающих в них динамических процессах.

Метеорологические радиолокационные станции успешно применяются при метеорологическом обеспечении полетов авиации. Перспективным является их использование для орнитологических наблюдений, что важно не только с точки зрения орнитологической науки, но и с точки зрения обеспечения безопасности полетов современных самолетов в орнитологическом отношении.

Особое место метеорологическая радиолокационная техника занимает в радиолокационном штормооповещении, где она является в настоящее время единственным эффективным средством дистанционного получения метеорологической информации с больших площадей в реальном масштабе времени. Только благодаря радиолокационной технике оказывается возможным оперативное наблюдение эволюции конвективных облаков и процесса образования градовой облачности.

Радиолокационная техника оказывается незаменимой в службе штормового оповещения, так как только она позволяет в условиях сравнительно редкой сети метеорологических станций и постов своевременно обнаруживать особо опасные явления, такие как ливни, грозы, шквал и т.д.

Метеорологические радиолокационные станции по своему принципу действия и характеру решаемых задач имеют много общего с радиолокационной техникой иного назначения (общая элементная база, практически одинаковая системная структура и т.д.), однако, специфика объектов наблюдения и характер получаемой при этом

метеорологической информации заставляют выделять их в отдельный класс с только им присущими техническими и эксплуатационными характеристиками.

Целью статьи является рассмотрение путей развития радиолокационной метеорологии и метеорологической радиолокационной техники.

В силу исторического хода научно-технического прогресса в метеорологическом приборостроении и объективных закономерностей развития радиометеорологической науки и практики, метеорологическим радиолокационным станциям и теории метеорологической радиолокации вообще предшествовало создание радиолокаторов иного назначения, а также интенсивное развитие общей теории радиолокации. Это привело к тому, что метеорологические радиолокаторы развивались практически по тем же направлениям, что и предшествующие им радиолокационные станции иного назначения.

Первые метеорологические радиолокаторы создавались на той же элементной и структурной основе, на которой строились радиолокаторы, используемые при обеспечении безопасности полетов авиации и мореплавания. Именно этот период характеризуется интенсивными научными исследованиями в области теории метеорологической радиолокации, поисками наиболее оптимального структурного состава метеорологических радиолокаторов и обоснования их диапазона волн. Этим вопросам, в основном, в тот период были посвящены теоретические и экспериментальные работы К.С. Шифрина, Н.Ф. Котова, В.Д. Степаненко, Е.М. Сальмана, Баттана, Атласа и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Следует заметить, что в это время, в основном, в качестве информативного параметра сигналов, отраженных от облаков и осадков, рассматривалась только их мощность (амплитуда отраженной электромагнитной волны). Именно этим, можно считать, обусловлен тот факт, что в тот период значительные силы были направлены на разработку способов измерения мощности радиолокационных сигналов, отраженных от облаков и осадков, обоснование алгоритмов обработки получаемой метеорологической информации и оценку погрешностей проводимых, таким образом, метеорологических измерений.

В первых метеорологических радиолокаторах, такие как и в радиолокационных станциях иного назначения, в качестве основного информативного параметра использовалась мощность отраженных сигналов (амплитуда отраженной электромагнитной волны). Именно с использованием мощности отраженных сигналов, как информативного параметра, построены первые отечественные и зарубежные метеорологические станции.

В теоретическом обосновании принципа построения радиолокатора, исследовании его метеорологической информативности, разработке алгоритмов обработки получаемой информации принимали активное участие В.Д. Степаненко, Е.М. Сальман, С.И. Ваксенбург и др.

Значительный вклад в создание сети метеорологических радиолокаторов и обеспечение ее методического руководства внесли Г.Б. Брылев и сотрудники возглавляемой им лаборатории.

В последующие годы на базе метеорологических радиолокаторов универсального назначения типа МРЛ-1, МРЛ-2 сотрудниками Высокогорного геофизического института (г. Нальчик) под руководством и при непосредственном участии М.Т. Абшаева, И.М. Бурцева, С.И. Ваксенбурга, Г.Ф. Шевелы было создано семейство метеорологических радиолокационных станций МРЛ-4, МРЛ-5, МРЛ-6, предназначенное специально для решения задач активных воздействий на градовые процессы, в которых в качестве информативного параметра также используется мощность отраженных сигналов.

Следует заметить, что все серийные метеорологические радиолокационные станции строятся с использованием одной фиксированной поляризации, одинаковой как на излучение, так и на прием (как правило, линейной вертикальной). Использование в радиолокаторе одной фиксированной поляризации, одинаковой как на излучение, так и на прием, с одной стороны, существенно упрощает его антенно-фидерный тракт, но зато с другой – значительно ограничивает его информационные возможности. Антенные системы

подобных радиолокационных станций являются одноканальными и обладающими взаимными поляризационными свойствами.

Несмотря на то, что метеорологические радиолокаторы с использованием мощности отраженных сигналов в качестве информативного параметра и работающие на одной фиксированной линейной поляризации получили широкое распространение и в настоящее время успешно применяются в оперативной службе погоды и службе активных воздействий, они в ряде случаев, уже вступили в противоречие с растущими требованиями к эффективности радиолокационного обнаружения и исследования облаков и осадков. Это приводит к необходимости использования в качестве информативных параметров других характеристик их радиолокационных сигналов.

Известно, что кроме мощности (амплитуды волны) информация о характеристиках отражающих объектов содержится также в частоте, фазе и поляризации отраженных от них высокочастотных сигналов.

Что касается использования частоты отраженных от облаков и осадков высокочастотных сигналов как информативного параметра, то оно, в принципе, идет двумя путями: использование частоты отраженных высокочастотных сигналов в качестве информативного параметра в некогерентных метеорологических радиолокаторах и использование частоты отраженных высокочастотных сигналов в качестве информативного параметра в когерентных (доплеровских) радиолокаторах.

Использование в качестве информативного параметра частоты сигналов в некогерентных метеорологических радиолокаторах основано на частотной зависимости мощности волны, отраженной от гидрометеорных частиц различных размеров. Здесь следует указать, что в таких радиолокаторах использование частоты отраженных высокочастотных сигналов как информативного параметра происходит совместно с мощностью вследствие зависимости последней от частоты.

Комплексное использование двух информативных параметров отраженных сигналов (частоты и мощности) может идти двумя путями: по пути создания некогерентных метеорологических радиолокаторов, работающих на различных длинах волн, и создание двух или многоволновых некогерентных метеорологических радиолокаторов. Примером метеорологических радиолокаторов, построенных с использованием первого пути, являются радиолокаторы противорадиолокационной службы МРЛ-4 и МРЛ-6, работающие первый – в трехсантиметровом, а второй – в десятисантиметровом диапазонах волн. Примером метеорологического радиолокатора, построенного по второму пути, является двухволновый радиолокатор МРЛ-5, одновременно работающий в трехсантиметровом и десятисантиметровом диапазонах.

Если использование частоты отраженных высокочастотных сигналов в качестве информативного параметра в некогерентных радиолокаторах не связано с изменением их структурного состава, то использование частоты отраженных высокочастотных сигналов в качестве информативных параметров в доплеровских радиолокаторах как когерентно-импульсных, так и с непрерывным излучением, существенно меняет структуру радиолокационных станций вследствие того, что в таких радиолокаторах измеряемым информативным параметром уже является частота отраженных сигналов (доплеровская частота, представляющая собой разность частот излученной и отраженной волн).

Использование доплеровских радиолокаторов для получения метеорологической информации представляет собой новый, более высокий этап в развитии радиолокационной метеорологии.

Несмотря на то, что до настоящего времени отсутствуют серийные метеорологические радиолокаторы с использованием в качестве информативных параметров частоты и фазы, теоретические и экспериментальные работы, выполненные в этом направлении Гореликом А.Г., Черниковым А.А. и их сотрудниками существенно расширили возможность радиолокационных измерений в метеорологии и привели к созданию

радиолокационных методов исследования турбулентности атмосферы, поля ветра внутри облачных образований, вертикальных потоков, скоростей падения капель и т.д., в том числе и радиолокационных методов исследования турбулентности ясного неба. К сожалению, в настоящее время еще отсутствуют специально созданные промышленные образцы таких метеорологических радиолокаторов. Имеются лишь экспериментальные макеты, созданные в научно-исследовательских целях, с помощью которых в ряде научных учреждений накапливается экспериментальный материал.

До шестидесятых годов поляризационные характеристики отраженных радиолокационных сигналов не привлекали особого внимания исследователей и инженеров не только в области радиолокационной метеорологии, но и в радиолокации вообще. Это, в первую очередь, обусловлено тем, что в отличие от диапазона оптических волн, где поляризационные эффекты давно изучены и уже длительное время используются, в диапазоне сверхвысоких частот отсутствовала высокочастотная элементная база, в частности, отсутствовали радиолокационные антенны с регулируемыми поляризационными характеристиками. Кроме того, как правило, все антенные системы того времени обладали только взаимными поляризационными свойствами, т.е. могли полностью принимать электромагнитную волну только той поляризации, какая излучалась антенной в режиме передачи.

Положение существенно изменилось с освоением техники СВЧ, принцип действия которой основан на современных достижениях сверхвысокочастотной элементной базы: пленочной техники, техники ферритов и т.д.

Указанное обстоятельство привело к тому, что подобные СВЧ элементы позволили простыми техническими средствами решить проблему синтеза излучаемых сигналов с любыми поляризационными характеристиками и анализа поляризационной структуры отраженных сигналов, что способствовало разработке методических вопросов поляризационных измерений в диапазоне СВЧ и анализу поляризационной структуры радиолокационных сигналов, отраженных от целей различной природы, в том числе отраженных от облаков и осадков.

Особое место в цикле таких работ занимают исследования, посвященные анализу поляризационных свойств радиолокационных объектов, т.е. их способности изменять поляризацию падающей волны при отражении [8].

В процессе проведения работ по разработке методов поляризационных измерений электромагнитных волн и технических средств для проведения таких измерений было установлено, что поляризационные параметры являются наиболее информативными с точки зрения получения информации о радиолокационных объектах, так как включают в себя одновременные измерения амплитуд двух составляющих радиолокационных сигналов и их фаз (разности фаз).

Первыми работами по использованию поляризации как информативного параметра при решении радиолокационных задач являются работы Д.В. Канарейкина, Н.Ф. Павлова и В.А. Потехина [9, 10], в которых наряду с поляризационными параметрами радиолокационных сигналов, отраженных от объектов не метеорологического происхождения, исследуется поляризация радиолокационных сигналов множественных пространственно и объемно распределенных целей, каковыми являются облака и осадки. Следует указать, что в последующие годы анализу поляризационной структуры радиолокационных сигналов метеорологических целей стало уделяться большое внимание и был выполнен цикл работ в этом направлении В.Д. Степаненко, Н.Ф. Павловым, В.Х. Корбаном, А.Б. Шупяцким [6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

Анализ поляризационной структуры электромагнитных волн, в том числе, и радиолокационных сигналов в полном объеме требует применения двухканальных РЛС, к созданию которых в первые годы не была подготовлена техника СВЧ. Поэтому рядом исследователей проводились работы по исследованию поляризационных эффектов,

имеющих место в радиолокационном канале при использовании одноканальных радиолокаторов.

В настоящее время, в связи с разработкой двухканальных вращающихся переходов с удовлетворительными фазовыми характеристиками, появилась возможность создания метеорологических радиолокаторов, в которых для повышения информативности в качестве информативных параметров могут быть использованы поляризационные характеристики волны, отраженной от облаков и осадков.

Использование поляризации радиолокационных сигналов облаков и осадков в качестве информативного параметра не решает оптимальным образом полного получения радиолокационных характеристик таких объектов, т.е. их рассеивающих свойств, так как она не является инвариантной относительно поляризации излучаемой волны: при различных поляризационных характеристиках излучаемой волны будут различными поляризационные параметры отраженных сигналов. Это приводит к выводу о том, что для получения полной информации о радиолокационных характеристиках облаков и осадков необходимо в качестве их информативных параметров такие характеристики, которые не зависели бы от поляризации излучаемой волны, т.е. были бы относительно нее инвариантны. Такой характеристикой является так называемый, оператор рассеяния, представляющий собой как бы совокупность матриц рассеяния при каждой поляризации излучаемой волны.

Метеорологические радиолокационные станции, позволяющие исследовать радиолокационные характеристики облаков и осадков поляризационными методами, являются наиболее оптимальными даже при одной фиксированной поляризации излучаемой волны и поэтому они в ближайшем будущем будут одними из основных технических средств радиометеорологических измерений.

Исторически сложилось так, что поляризационные методы исследований радиолокационных объектов вошли в радиолокационную метеорологию одновременно как методы исследования поляризационных свойств облаков и осадков и как методы исследования поляризационных параметров их радиолокационных сигналов.

Одной из первых работ, в которой было обращено внимание на изменение поляризации электромагнитных волн при отражении их от гидрометеорологических частиц несферической формы и на возможность использования поляризационных характеристики сигналов в качестве информативных параметров при радиолокационном исследовании облаков и осадков была работа Мейсона [18], выполненная в США в пятидесятых годах. В ней показано, что поляризационные параметры радиолокационных сигналов облаков и осадков зависят от формы, материала и ориентации эллипсоидальных частиц.

Дальнейшие исследования поляризационной структуры радиолокационных отражений от метеорологических целей проводились А.В. Шупяцким, Н.Ф. Павловым, В.Х. Корбаном, Ф.И. Яновским и другими исследователями. Следует указать, что исследование поляризации радиолокационных сигналов как информативного параметра для повышения эффективности радиолокационных станций выполнено Д.Б. Канарейкиным, Н.П. Павловым и В.А. Потехиным, которые обобщили практически все возможные направления использования поляризационных преобразований для повышения информационного потенциала радиолокационной техники.

Известно, что реальные облака и осадки, в общем случае, состоят из находящихся во взвешенном состоянии или выпадающих ледяных кристаллов, или водных капель, имеющих сложную форму, ориентация которых в пространстве непрерывно изменяется. Теоретическое решение задачи рассеяния электромагнитных волн на гидрометеорологических частицах такой сложной формы практически невозможно, поэтому оно проводилось на их моделях – частицах в форме двухосных эллипсоидов вращения. А.Б. Шупяцкий выполнил расчеты величин основной и деполаризованной составляющих отраженных от таких частиц сигналов, нормированных относительно отражений от равновеликой сферы при излучении линейно поляризованной волны. Н.Ф. Павловым, А.И. Сташкевичем и А.М. Грибовым теоретически

разработана методика расчета поляризационных параметров, отраженных от таких частиц сигналов, при облучении одиночных эллипсоидальных частиц волной в общем случае эллиптической поляризации.

Что касается теоретических исследований радиолокационных характеристик реальных облаков и осадков (например, оператора рассеяния), то они до настоящего времени практически не проводились, если не считать некоторых работ, в которых этот вопрос затрагивается попутно с рассмотрением других аспектов поляризационных измерений. Это обусловлено, по-видимому, с одной стороны, сложностью проблемы вследствие статистического характера задачи, а, с другой – отсутствием возможности экспериментальной проверки полученных при этом результатов в виду сложности проведения фазовых измерений в оперативных условиях в диапазоне сверхвысоких частот.

Именно поэтому все экспериментальные исследования радиолокационных характеристик облаков и осадков на основе использования поляризационных методов сводились к исследованию поляризационной структуры радиолокационных сигналов, отраженных от атмосферных образований без проведения фазовых измерений, что существенно ограничивало степень информативности исследуемых поляризационных параметров.

Цикл экспериментальных работ, выполненный А.Б. Шупяцким, Ю.В. Мельничуком и др. по исследованию поляризационной структуры радиолокационных сигналов метеообъектов, основан на анализе интенсивностей ортогональных линейно поляризованных компонент и коэффициента деполаризации, при этом показано, что коэффициент деполаризации может быть положен в основу идентификации облаков и осадков. Именно на использовании этого и основан так называемый поляризационный критерий определения градоопасных облаков, разработанный Л.А. Диневичем и внедренный в практику противоработ в Молдове. Подобные экспериментальные исследования требовали двухканальной антенной системы и волноводно-фидерного тракта, что явилось существенным недостатком метода.

Дальнейшие работы в этой области привели к возможности измерения коэффициента деполаризации радиолокационных сигналов облаков и осадков при использовании одноканальной антенны (с переключением поляризации антенны на прием и передачу). Приставка подобного рода к сетевому метеорологическому радиолокатору была разработана А.Б. Шупяцким.

Эффективным методом исследования поляризационной структуры радиолокационных отражений от облаков и осадков является метод, разработанный В.Д. Степаненко и Н.Ф. Павловым, основанный на последовательном облучении исследуемых облаков и осадков волнами различной поляризации при различных поляризационных параметрах антенны на прием, в ряде случаев, не совпадающих с поляризационными параметрами антенны на передачу (как по параметру, так и по степени взаимности). В процессе проведения этих исследований выявилась высокая эффективность использования невзаимных режимов радиолокационных антенн, при которых выявляются такие особенности поляризационной структуры радиолокационных сигналов облаков и осадков, которые остаются не выявленными при использовании только взаимных радиолокационных антенн.

Исследование полной поляризационной структуры радиолокационных отражений путем осуществления полного приема с анализом амплитуд и фаз ортогонально поляризованных составляющих сдерживалось отсутствием высокочастотной элементной базы, в первую очередь двухканальных вращающихся сочленений, без которых невозможно осуществить круговой обзор пространства с одновременным анализом поляризационной структуры отраженных сигналов. Поэтому в исследовательских целях анализ поляризационных эффектов при двухканальном приеме проводился без осуществления непрерывного кругового обзора пространства. Анализ корреляционных связей амплитуд

линейных ортогонально поляризованных компонент отраженных сигналов выполнен В.А.Капитановым. Анализ и интерпретацию отраженных от облаков и осадков радиолокационных сигналов при двухканальном приеме выполнен иностранными авторами.

Более широкие возможности содержит способ исследования радиолокационных характеристик облаков и осадков при использовании радиолокационных антенн с отдельно регулируемыми поляризационными характеристиками на излучение и на прием. Заметим, что упрощенной разновидностью этого способа является описанный выше способ исследования с помощью взаимно-невзаимных антенн при использовании одноканального радиолокатора.

Измерения радиолокационных характеристик облаков и осадков на основе анализа поляризационной структуры их радиолокационных сигналов – одна из важнейших задач современной радиолокационной метеорологии.

Анализ путей развития метеорологической радиолокационной техники и информативности параметров радиолокационных сигналов, отраженных от облаков и осадков, показывает, что в настоящее время повышение эффективности использования метеорологической радиолокационной техники для решения метеорологических задач может идти по двум основным направлениям: использование в качестве информативного параметра отраженных сигналов фазы и частоты, т.е. по пути создания доплеровских радиолокаторов, и использование в качестве информативного параметра поляризационной структуры отраженных сигналов, т.е. по пути создания радиолокационных поляриметров.

Доплеровские радиолокаторы позволяют выявить и исследовать зоны атмосферной турбулентности, поля воздушных потоков и другие характеристики атмосферы, обусловленные динамическими процессами, при этом в стороне остаются не менее, а в ряде задач и более важные аспекты исследуемых атмосферных процессов.

Метеорологические радиолокационные поляриметры, оставаясь по своему принципу некогерентными радиолокаторами, наряду с решением задач, свойственных радиолокаторам с анализом амплитуды отраженных сигналов, могут быть использованы и для решения задач, характерно частично и для доплеровских РЛС, так как в них производится анализ как амплитудных, так и фазовых характеристик отраженных сигналов, более того, даже их корреляционных связей.

Поэтому поляризационные параметры отраженных сигналов для решения радиометеорологических задач, не связанных с определением поля скоростей, оказываются более информативными, чем по отдельности амплитуда и частота (фаза). Вследствие этого, естественно, предметом исследований с целью повышения информационной эффективности метеорологической радиолокационной техники, должны быть, прежде всего, методы, основанные на использовании поляризационных эффектов.

При этом исследование возможности использования поляризационных эффектов для повышения эффективности метеорологической радиолокационной техники предусматривает два пути.

Первый путь состоит в исследовании радиолокационных характеристик облаков и осадков, т.е. их способности отражать падающую на них высокочастотную энергию. Этот путь, как бы, представляет собой программу максимум, так как его успешной реализацией он полностью решает задачу радиолокационного исследования микрофизической структуры отражающих атмосферных образований. Он реализует измерение так называемой матрицы рассеяния облаков и осадков, связывающей между собой излученную и отраженную электромагнитные волны, которая полностью определяет отражающие свойства атмосферных образований. Естественно, что вид матрицы рассеяния будет зависеть от принятого способа описания волн. В частности, при описании волн матрицей-столбцом Максвелла матрица рассеяния будет иметь вид квадратной матрицы размера 2×2 . При описании волн четырехмерным вектором Стокса (матрицей-столбцом Стокса) структура

матрицы будет квадратной, размером 4×4 . Очевидно, что могут быть и другие разновидности структуры матрицы.

Важным моментом в этой части является также исследование характеристик оператора рассеяния.

Оператор рассеяния отражающего объекта инвариантен относительно поляризационных параметров падающей волны и полностью определяет его отражающие свойства, т.е. его радиолокационные характеристики.

С целью всестороннего изучения структуры матриц рассеяния при различных способах задания волны целесообразно исследовать их как при задании волны матрицей-столбцом Максвелла и матрицей-столбцом Стокса.

Второй путь состоит в исследовании поляризационных параметров радиолокационных сигналов при облучении облаков и осадков волной одной или последовательно нескольких поляризаций. При таком исследовании поляризация отраженной волны уже не будет инвариантна относительно поляризации падающей волны. Естественно, что такой способ исследования выявляет не полностью радиолокационные характеристики облаков и осадков, а их проявление при облучении волной данной конкретной поляризации.

В практическом плане указанные исследования имеют цель идентифицировать по радиолокационным характеристикам облака и осадки, и выделить внутри них зоны (участки), обеспечивающие существенную деполяризацию сигналов при отражении.

Выводы:

1. Проведенный анализ путей развития радиолокационной метеорологии и метеорологической радиолокационной техники позволяет обосновать наиболее перспективные радиолокационные методы дистанционного обнаружения и распознавания опасных метеорологических объектов.

2. Материал статьи позволяет наметить дальнейшие исследования в разработке новых радиолокационных методов у метеорологической радиолокационной техники.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Атлас Д. Успехи радарной метеорологии / Атлас Д. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 194 с.
2. Баттан Л. Дж. Радиолокационная метеорология / Баттан Л. Дж. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 196 с.
3. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 343 с.
4. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 230 с.
5. Сальман Е.М. Радиолокационные критерии разделения грозовой и ливневой деятельности / Е.М. Сальман, С.Б. Гашина, Б.Ш. Дивинская // Метеорология и гидрология. – 1969. – № 4. – 1969. – С.79-83.
6. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии / Степаненко В.Д. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 350 с.
7. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде / Шифрин К.С. – М.: Гидрометеиздат, 1951. – 288 с.
8. Шупяцкий А.Б. Применение поляризованных волн для исследования облаков и осадков / А.Б. Шупяцкий, С.П. Моргунов // Доклады АН. – Т.140. – № 3. – 1966. – С.591-594.
9. Канарейкин Д.В. Поляризация радиолокационных сигналов / Канарейкин Д.В., Павлов Н.Ф., Потехин В.А. – М.: Советское радио, 1966. – 440 с.
10. Канарейкин Д.В. Морская поляриметрия / Канарейкин Д.В., Потехин В.А., Шишкин И.Ф. – Л.: Судостроение, 1968. – 328 с.
11. Павлов Н.Ф. К определению поляризации трехкомпонентной волны / Павлов Н.Ф., Сташкевич А.А., Грибов А.А. // Труды ЛВИКА им.А.Ф.Можайского. – Вып. 549. – 1970. – С. 50-55.

12. Корбан В.Х. Поляризаційна селекція хмар і опадів / Корбан В.Х. – О.: «Тов. Зовнішрекламсервіс», 2004. – 248 с.
13. А.с. 1027661 Способ определения матрицы рассеяния исследуемого объекта / Н.Ф. Павлов, В.Х. Корбан (Украина). - № 3395901; заявл. 12.03.82; опубл. 07.07.1983. Бюл. № 25.
14. А.с. 1097077 Устройство для измерения полной матрицы рассеяния исследуемого объекта / Н.Ф. Павлов, В.Х. Корбан (Украина). - № 3576900; заявл. 22.04.83; опубл. 08.02.84. ДСК.
15. А.с. 1097076 Поляризационная метеорологическая радиолокационная станция / Н.Ф. Павлов, В.Х. Корбан (Украина). – № 3576895; заявл. 22.04.83; опубл. 08.02.84. ДСК.
16. Корбан В.Х. Использование поляризационных характеристик электромагнитной волны для исследования радиофизических свойств тропосферы в задачах прогноза тумана / В.Х. Корбан, З.И. Рехлицкий, П.А. Гавриш // Метеорология, климатология и гидрология. – 1992. – Вып.23. – С.108-112.
17. Шупяцкий А.Б. Использование поляризационных и статистических характеристик радиолокационного сигнала для обнаружения опасных для полета самолета зон в облаках / А.Б. Шупяцкий, Ф.И. Яновский // Статистические методы в теории передачи и преобразования информационных сигналов. Материалы Всесоюзной научно-технич. конф.: тезисы докладов. – К., 1988. – С.68.
18. Мейсон Б.Дж. Физика облаков / Мейсон Б. Дж. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 428 с.

REFERENCES:

1. Atlas D. Advances radar meteorology, (1967): 194 p.
2. Battal L.J. Radar meteorology, (1962): 196 p.
3. Guidelines for the production and use of observational data from radars SCLC-1 and SCLC-2, (1973): 343 p.
4. Guidance on the application of radar MRL-4, 5-MRL and MRL-6 in the hail protection system, (1980): 230 p.
5. Salman E.M., Gashin S.B., Divinskaya B.Sh. Radar separation criteria thunderstorm and storm activity, (1969): S.79-83.
6. Stepanenko V.D. Radar in Meteorology, (1973): 350 p.
7. Shifrin K.S. Light scattering in turbid media, (1951): 288 p.
8. Shupyatsky A.B., Morgunov S.P. The use of polarized waves to study clouds and precipitation, (1966): S.591-594.
9. Kanareykin D.V., Pavlov N.F., Potekhin V.A. The polarization of the radar signals, (1966): 440 p.
10. Kanareykin D.V., Potekhin V.A., Shishkin I.F. Marine polarimetry, (1968): 328 p.
11. Pavlov N.F., Stashkevich A.A., Gribov A.A. Determination of polarization three-wave, (1970): S.50-55.
12. Korban V.H. Polarization selection of clouds and precipitation, (2004): 248 p.
13. Korban V.H., Pavlov N. F. A method for determining scattering matrix of the object. AS number 1027661, (1983).
14. Korban V.H., Pavlov N. F. A device for measuring the total scattering matrix of the object. AS number 1097077, (1984).
15. Korban V.H., Pavlov N.F. The polarization weather radar. AS number 1097076, (1984).
16. Korban V.H., Rekhlytskii Z.I., Gavrish P.A. Using the polarization characteristics of the electromagnetic wave for the study of radio-physical properties of the troposphere in the problems of forecasting fog, (1992): S.108-112.
17. Shupyatsky A.B., Janowski F.Y. The use of polarization and the statistical characteristics of the radar signal to detect hazardous to aircraft flight zones in the clouds, (1988): P.68.
18. Mason B.J. The physics of clouds, (1961): 428 p.