# 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРАХ

Метеорологические радиолокаторы сегодня являются уникальным средством метеорологических наблюдений, которое может обеспечить в режиме реального времени точную информацию о местоположении и характере перемещения зон интенсивных осадков, гроз, града на больших территориях. Современный локатор производит циклические наблюдения с периодичностью от 3 до 15 минут в круглосуточном автоматизированном режиме, предоставляя данные с высоким пространственным разрешением (1 км) на площади до 200 тыс.км2 (радиус зоны радиолокационного обзора – 250км).

Радиолокационная информация хорошо дополняет данные метеорологических спутников, которые используют для зондирования атмосферы пассивные методы (радиометры), дающие существенно иную выходную метеорологическую информацию. Радиолокационные средства космического зондирования в настоящее время проходят этап научных исследований и пока далеки от внедрения в метеорологическую практику.

Первые метеорологические наблюдения с помощью радиолокаторов были проведены в годы Второй мировой войны. В послевоенный период были заложены теоретические основы метеорологических наблюдений, связавшие измерения параметров радиоэха с характеристиками гидрометеоров. Первые метеорологические радиолокаторы, предназначенные для оперативных наблюдений на сети, были однопараметрическими и проводили измерения только одного параметра облаков и осадков – радиолокационной отражаемости Z. Тем не менее, даже измерение только одного параметра дало специалистам-метеорологам мощный инструмент наблюдений: появилась возможность оценивать местоположение и внутреннюю структуру зон мощной облачности и осадков, их высоту, тенденцию развития, на его основе был развит р/л метод измерения осадков, в СССР большое развитие получил метод идентификации гроз на основе анализа вертикальной структуры поля р/л отражаемости. Были отработаны р/л алгоритмы идентификации града и проведена отработка методики противоградовых работ. В этот период в МРЛ использовались аналоговые приемные устройства, наблюдения проводились ручным способом, а для отображения информации использовались индикаторы кругового обзора на лучевых трубках. К данному поколению радиолокаторов относились советские метеорологические радиолокаторы МРЛ-1, МРЛ-2. Необходимо отметить, что первый из них был первым двухволновым радиолокатором, хотя миллиметровый канал достаточно быстро обнаружил свою низкую эффективность.

Следующий шаг в технике радиолокации был сделан в направлении использования доплеровских методов радиолокационных метеонаблюдений. К измерениям р/л отражаемости Z добавились – радиальная доплеровская скорость V и ширина доплеровского спектра. На основе использования этих трех измеряемых на ДМРЛ параметров в США большое развитие получили методы идентификации таких опасных явлений погоды, связанных с ветром, как смерчи и торнадо. К сожалению, в СССР в этом направлении проводились только исследовательские работы, серийный оперативный доплеровский радиолокатор разработан не был. В результате внедрения в практику радиометеорологических наблюдений доплеровской обработки были получены следующие достижения:

* разработаны методы идентификации смерчей и торнадо («сигнатуры торнадо» на картах радиальной скорости) и разработаны методы прогноза их перемещения,
* использование доплеровской фильтрации для исключения отражений от местных предметов,
* разработаны методы идентификации опасных сдвигов ветра и турбулентности в тропосфере,

В 70-е годы в нашей стране был разработан радиолокатор МРЛ-5, ставший единственным в мире серийным двухволновым радиолокатором (длина волны 3- и 10-см), который широко использовался не только для штормооповещения, но и в исследования измерения осадков двухволновым методом, и в работах по градозащите при проведении АВ с использованием двухволнового метода обнаружения града.

В конце 70-х годов прошлого века для управления радиолокатором и обработки полученной информации стали использоваться ЭВМ, р/л наблюдения стали автоматизированными. К Олимпиаде-80 в московском регионе была запущена первая отечественная радиолокационная сеть из трех радиолокаторов МРЛ-5 (Долгопрудный, Калуга, Рязань) под управлением ЭВМ семейства СМ. Объединение информации трех радиолокаторов производилось на печатающем устройстве, а информация передавалась в Гидрометцентр СССР. В 1985 г. в Москве были проведены испытания первого комплекса АКСОПРИ, на основе которого была создана радиолокационная сеть «Московское кольцо», до настоящего времени обеспечивающая оперативные наблюдения в московском регионе. Потребителями метеорологической радиолокационной информации, в первую очередь - карт метеоявлений, ВГО, интенсивности и накопленных осадков, являются оперативные службы Росгидромета, авиационные метеорологи и службы УВД, коммунального и транспортного управления и др. Позже были разработаны другие отечественные автоматизированные системы радиолокационных метеонаблюдений – «Метеоячейка», «АСУ-МРЛ», «Мерком», «Антиград».

После внедрения автоматизации радиолокационных метеорологических наблюдений и перехода на использование в конструкции ДМРЛ твердотельных модуляторов, цифровых приемников и когерентной обработки сигналов следующим значительным шагом стало внедрение поляризационных методов.

Первые отечественные исследования на поляризационных метеорологических радиолокаторах были проведены в 60-х годах прошлого века, однако только через 50 лет эта технология была внедрена за рубежом в оперативную практику метеонаблюдений. На начальном этапе работ проводились эксперименты с разными видами поляризации радиоизлучения (например, с излучением круговой и приемом линейной) и типом обработки принимаемой информации (череспериодной одноканальной обработкой). В современных метеорологических поляризационных радиолокаторах одновременно излучается два радиосигнала – на вертикальной и горизонтальной поляризациях. Для приема отраженного радиоэха используются два приемных устройства для каждой поляризации. По сравнению с неполяризационными радиолокаторами обеспечивается непосредственное измерение трех дополнительных радиолокационных параметров облаков и осадков – дифференциальной отражаемости Zdr, дифференциальной фазы Fdp и коэффициента кросскорреляции ρHV. Их обработка в совокупности с остальными тремя параметрами Z, V, W обеспечивает решение следующих практических задач:

* уточненные измерения осадков радиолокационным способом за счет уменьшения случайной ошибки метода за счет вариаций распределения капель осадков по размерам, систематической ошибки за счет ошибки в абсолютной калибровке канала отражаемости,
* коррекция ослабления зондирующего радиоизлучения в осадках,
* идентификация типа гидрометеоров и фазы осадков,
* поляризационная фильтрация сигналов от неметеорологических целей (насекомых, семян, пыли в тропосфере, отражений от «местников» и т.д.).

Объединение метеорологических радиолокаторов в сеть позволяет во многих случаях компенсировать ограничения радиолокационного метода метеонаблюдений: ослабление радиоизлучения в осадках, блокировка радиоизлучения естественными (рельеф, растительность) и искусственными (здания и сооружения) препятствиями в отдельных секторах, азимутальные направления с помехами, снижение разрешающей способности радиолокатора за счет расширения луча и увеличение высоты луча за счет кривизны Земли на больших дальностях (см.разд.8).

Сегодня метеорологические радиолокационные сети созданы во всех развитых странах: в США сеть NEXRAD объединяет 156 доплеровских поляризационных радиолокаторов S-диапазона WSR-88D, в Европе в рамках международного проекта OPERA объединяются около 180 радиолокаторов различных производителей, работающих по разным программам наблюдений. Часть из них является доплеровскими и поляризационными. В Китае, Японии, Австралии радиолокаторы также объединены в национальные сети. Как правило, для объединения радиолокационной информации используются первичные данные наблюдений.

Основной выходной информацией радиолокационных метеорологических наблюдений является информация о местоположении, внутренней структуре, метеорологических характеристиках (тип метеоявления, интенсивность и фаза выпадающих осадков, ВГО, доплеровской скорости) полей облачности и осадков, а также наблюдения их перемещений и эволюции, дающая возможность сверхраткосрочного (до 1-3 часов) прогноза погоды.

Современные метеорологические радиолокаторы решают следующие актуальные практически важные задачи:

* проведение идентификации метеоявлений, связанных с облачностью и осадками, информационное обеспечение сверхкраткосрочного прогноза погоды,
* измерение характеристик осадков радиолокационным способом и использование этих данных в гидрологических расчетах и прогнозах,
* обеспечение р/л информацией численных моделей прогноза погоды для их инициализации и верификации.

Традиционно, в радиометеорологии используются три частотных диапазона длин волн: X (3,2 см), C (5,3 см) и S (10 см). Диапазон S используется в условиях интенсивных осадков, т.к. он наименее подвержен ослаблению в осадках, однако, для обеспечения ширины луча 1° приходится использовать антенны диаметром 9 м. Диапазон X почти не используется для оперативных наблюдениях, так как испытывает сильное (примерно в 100 раз по сравнению с S-диапазоном) затухание в осадках, но позволяет использовать относительно малые антенны – 2 м для формирования луча шириной 1°. В нашей стране диапазон 3,2 см традиционно широко использовался в метеорадиолокаторах серии МРЛ. В МРЛ-5 с антенной диаметром 4,5 м использование для зондирования излучения X-диапазона обеспечивает ширину луча 0,5°, что особенно эффективно в зимних условиях с низкой облачностью. Частотный диапазон С (длина волны 5,3 см) является разумным компромиссом в радиометеорологии между размерами антенны и ослаблением в осадках. В радиолокаторе ДМРЛ-С антенна диаметром 4,3 м обеспечивает ширину луча 0,95°.

Дальность радиолокационных наблюдений сегодня определяется не столько возможностями техники (метеопотенциалы однотипных радиолокаторов различных производителей примерно равны), сколько решаемыми задачами и естественными ограничениями. Радиолокационный луч, выпущенный под нулевым углом места, из-за кривизны Земли на дальностях свыше 100 км отрывается от поверхности Земли на более чем 600 м. На дальностях более 250 км радиолокатор может обнаруживать только верхушки мощных облаков и использоваться для раннего штормооповещения.

Обзорные метеолокаторы (например, сеть NEXRAD в США) имеют луч шириной 1°, и проводят наблюдения на большой территории (до 460 км по дальности) в цикле наблюдений длительностью от 4,5 до 10 минут в зависимости от выбранного режима, который выбирает дежурный специалист NWS Regional Office (аналог российского ЦГМС) исходя из текущей обстановки. Обзорные метеорологические радиолокаторы в США, Индии, странах Юго-Восточной Азии проводят р/л наблюдения на океанском побережье с целью раннего обнаружения тропических циклонов.

Специализированные доплеровские радиолокаторы TDWR С-диапазона (США, Гонконг, Китай)устанавливаются в аэропортах для обнаружения опасных микропорывов и сдвигов ветра на малых высотах и имеют более узкий луч 0.5° и радиальное разрешение 150 м. Высокое пространственное разрешение (по углу) обеспечивается на дальностях до ~90 км от места установки из-за естественного уширения и подъема луча над поверхностью земли с расстоянием. Кроме того, радиоизлучение на длине волны 5 см (С-диапазон) испытывает заметное ослабление в осадках по сравнению с 10-см диапазоном у радиолокаторов NEXRAD. В отличие от обзорных, радиолокаторы TDWR используют более сложную модель сканирования: непрерывное круговое под низким углом места антенны, а в случае обнаружение радиоэха выше порога – быстрое секторное сканирование под 1-2 углами места для обнаружения зон порывов и сдвигов [24].

В передвижных метеорологических радиолокаторах, где ограничены размеры антенны (авиационных бортовых, автомобильных), для зондирования используют длину волны 3,2 см.

Таким образом, используемые в разных странах метеорологические радиолокаторы различаются не только используемой длиной волны. МРЛ производят наблюдения в разных режимах с разной длительностью циклов. Для метеорологической обработки данных наблюдений используется различное программное обеспечение, отличающееся выходными продуктами. Также отличаются выбор углов и программы сканирования облачной атмосферы.