

Использование беспилотных летательных средств, оснащенных специализированной радиофизической аппаратурой для исследования фундаментальных проблем формирования радиоэха и теплового излучения облачности на разных стадиях ее развития

А.Г.Горелик, С.Ф.Коломиец, Н.М.Ситников

ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, ул. Первомайская 3, e-mail: radiometeo@mail.ru

Обсуждаются проблемы, связанные с возможностью применения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА) с установленными на них контактными датчиками и малогабаритной радиофизической аппаратурой. Последняя способна измерять микроструктуру, водность, а также границы облачности совместно с параметрами, характеризующими его динамическое состояние. Показано, что за счет уменьшения расстояния от минирадиолокатора до облака можно резко снизить требования к его габаритам и энергетическому потенциалу. Приводятся результаты расчетов и натурных испытаний малогабаритного МБПЛА с установленными на нем контактными датчиками.

Анализ материалов, содержащийся в большинстве периодических изданий, учебников и монографий, посвященных применению радиолокационной техники для решения задач, стоящих перед метеорологией, указывает на то, что подобная техника способна определять рассеивающие свойства большинства метеообъектов на больших удалениях. Это открыло широкие возможности дистанционного обнаружения наиболее опасных для народного хозяйства и авиации отражающих объектов, в том числе и на достаточно больших расстояниях от РЛС. Удалось исследовать процессы развития и распада, а также перемещения в пространстве грозных очагов, тайфунов и т.д. В последние годы разрабатываются методы, предназначенные для оперативного определения динамического состояния практически во всех слоях тропосферы и нижней стратосферы. Обратим внимание, что связи между параметрами отраженного сигнала (мощностью радиоэха и его спектральными и поляризационными характеристиками) и величинами, которыми пользуются метеорологи, многофункциональны и неоднозначны. Однозначный переход от радиотехнических параметров, измеренных радиолокатором, к метеорологическим резко усложняется, а во многих случаях вообще невозможен. В [9] показано, что сложность решения задачи интерпретации возрастает при увеличении расстояния между радиолокатором и метеообъектом, так как появляются новые факторы, влияющие на формирование радиоэха. Поэтому возникает необходимость проведения радиолокационных и контактных измерений, обеспечивающих получение дополнительной информации о формировании сигнала радиоэха за счет измерения микроструктуры и динамических процессов, протекающих в исследуемом объекте.

Первоначально предполагалось [11], что чем выше радиолокационная отражаемость метеообъекта, тем большую опасность несет в себе метеообъект. Это положение имеет определенное геофизическое обоснование. Радиолокационная отражаемость облака возрастает при увеличении размера и концентрации в нем крупных частиц. Известно, что образование крупных частиц во многих случаях связано с активными динамическими процессами, протекающими в метеообъекте. Однако, такие связи существуют далеко не всегда. Поэтому для определения опасности метеообъекта приходится усложнять методику проведения радиолокационных измерений и включать в обработку большее число параметров радиоэха, которые нужно подвергнуть анализу. В разных метеообразованиях процессы образования

радиоэха происходят по разным законам. Это существенно влияет на возможность однозначной интерпретации результатов радиолокационных наблюдений.

Современная радиолокация сантиметрового и миллиметрового диапазона позволяет получить сигнал практически от всех типов облаков. Однако однозначной связи между получаемым сигналом даже для одного типа облачности установить не удается. Это указывает на сложный характер формирования радиоэха от объектов даже одного типа и тем более их различных форм. Облака казалось бы со сходной микроструктурой и степенью развития далеко не всегда указывают на однозначную связь между мощностными параметрами радиоэха и микроструктурой облака оцениваемой по данным контактных датчиков. В конце 50-х и начале 60-х годов прошлого столетия, с учетом работ Д. Атласа и Р. Доналдсона предполагалось, что при помощи радиолокатора можно измерять водность облаков, из которых не выпадают осадки [1-3]. Это открывало возможность изучения трансформации облака, включая стадию роста и распада.

С целью проверки основных положений, заложенных в [1-3] В. В. Костаревым и А. М. Боровиковым в ЦАО в те же годы был проведен цикл четко поставленных экспериментальных работ [4,5]. В этих работах в одной и той же части облака (над радиолокатором) измерялись как радиолокационная отражаемость, так микроструктура и водность облака. На самолете устанавливались контактные приборы, измеряющие микроструктуру и водность облака. В момент его пролета точно над локатором измерялась микроструктура и водность облака и его радиолокационная отражаемость. В результате обработки полученных данных удалось проверить основные выводы работ [1-3]. Сопоставление контактных и радиолокационных данных привело к обескураживающим результатам. Зависимости между водностью и радиолокационными параметрами облака обнаружено не было. Водность облаков, рассчитанная по формулам [1-3] могла во много раз превышать значения водности, полученные в результате контактных измерений. Вместе с тем, в весенний период наблюдались облака с очень высокой водностью, радиолокационная отражаемость которых не регистрировалась даже при высоком потенциале радиолокатора. Нестыковка данных контактных измерений микроструктуры и рассеивающих свойств облачности привели к формулировке гипотезы, согласно которой в облаке должны существовать «сверхкрупные капли», которые должны вносить минимальный вклад в водность, но существенно повышать рассеивающие свойства облачности в сантиметровом диапазоне длин волн. Проверка этой гипотезы привела к обнаружению таких капель в большинстве типов исследованных облаков. Это стало возможно благодаря использованию специально созданного А. Н. Невзоровым прибора ИРЧ, что зарегистрировано в качестве открытия.

Анализ факторов, приводящих к обнаружению облаков с высокой водностью, но очень низкой отражаемостью не проводился. Только в последние годы были предложены модели, при помощи которых можно объяснить подобный эффект [6-8]. В настоящее время получен материал, способный объяснить полученные результаты. Тщательная проверка новых моделей требует постановки целенаправленных экспериментов. Однако, их постановка в течение длительного времени была невозможна по причине их высокой стоимости и организационной сложности.

Развитие микроэлектроники и вычислительной техники, достигнутые за последние годы, позволяют создать малогабаритные радиолокационные и оптические комплексы, которые совместно с контактными датчиками могут быть установлены на малогабаритных беспилотных летательных аппаратах (МБПЛА), так как имеют малые габариты и низкие показатели энергопотребления. В ФГБУ «ЦАО» проведен широкий круг исследований, направленных на использование беспилотных летательных

аппаратов для проведения атмосферных измерений. Разработаны экспериментальные образцы бортовой аппаратуры для измерения пространственных распределений термодинамических параметров атмосферы и ее газового и аэрозольного состава [13-15]. На рисунках 1,2 представлены некоторые результаты измерений параметров атмосферы, выполненных с борта МБПЛА с помощью аппаратуры, разработанной в ФГБУ «ЦАО».

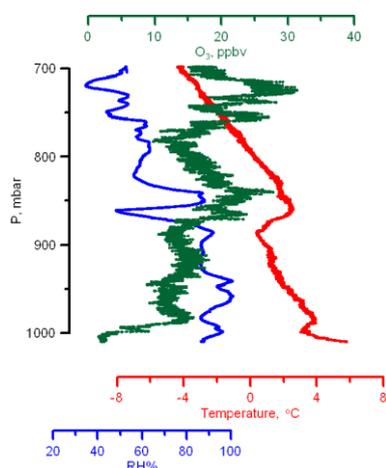


Рис.1. Вертикальные распределения температуры, влажности и концентрации озона, измеренные с борта БПЛА самолетного типа (максимальная высота – 3000 м).

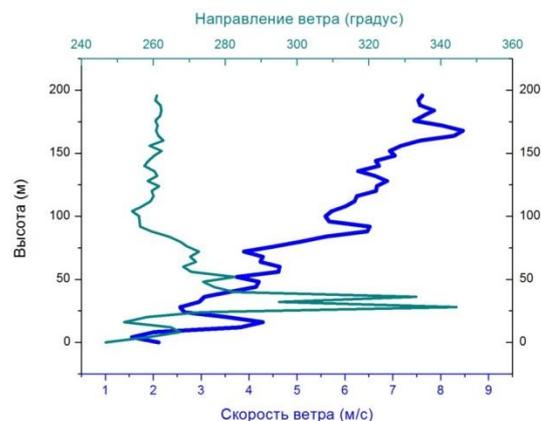


Рис. 2. Вертикальные распределения скорости и направления ветра, измеренные с борта БПЛА вертолетного типа.

Полученные при помощи малогабаритной микроволновой радиолокационной аппаратуры данные будут использованы для одновременного определения микроструктуры облака и динамических процессов, протекающих в нем. При этом должна быть разработана методика проведения таких измерений, а также уточнены параметры аппаратуры при ее установке на МБПЛА. Также должен быть определен круг задач, связанных с термодинамическими процессами, протекающими в облаке в процессе его развития, которые предполагается решить в первую очередь. Таким образом, открываются широкие возможности для проведения измерений, при которых на одной и той же мобильной платформе будут установлены как контактные измерительные устройства, так и дистанционные, основанные на различных физических принципах (оптические, ИК, электромагнитные и т.д.).

Измерения, выполняемые с борта МБПЛА должны проводиться синхронно с дистанционными измерениями с помощью наземной радиолокационной и микроволновой радиометрической аппаратуры, имеющей более высокие чувствительность и энергетический потенциал. Сопоставление и анализ результатов тех и других измерений должны дать ответ на вопросы, связанные с формированием радиоэха различными типами облачности в процессе их эволюции. Синхронные измерения, полученные с использованием контактных и дистанционных инструментов должны способствовать более глубокому пониманию процессов взаимодействия электромагнитного излучения с метеорообъектами, имеющими различную микроструктуру и помочь в геофизической интерпретации результатов измерений на сети штатных радиолокаторов, создаваемой метеослужбой.

Литература

1. Atlas D., Donaldson R. J., The feasibility of the identification of hail and severe storms. Air Force Surveys on Geophysics No. 65, Cambridge, Massachusetts, 91 p.
2. Atlas D., The estimation of cloud parameters by radar. J. Meteorol. 11, 1954, p.p. 309–317.
3. Donaldson, R.J., The measurement of cloud liquid-water content by radar. J. Meteorol. 12, 1955, p.p. 238–244.
4. Боровиков А. М., Костарев В.В., Мазин И. П., Черников А. А., Связь величины радиолокационного сигнала отраженного от облака с параметрами облаков. Тр. ЦАО, вып. 36, 1961. с. 19-27.
5. Боровиков А. М., Мазин И. П., Невзоров А. Н., Некоторые результаты измерений распределения по размерам крупных частиц в облаках. Тр. ЦАО, вып. 36, 1961. с. 3-13.
6. Коломиец С. Ф., Современное состояние моделей рассеяния электромагнитных волн на частицах разреженных сред. Научный вестник МГТУ ГА, Серия "Радиофизика и электроника", вып. 189, 2013, с. 104-112.
7. Коломиец С. Ф., Статистический подход к описанию рассеяния электромагнитных волн на частицах разреженных сред. Научный вестник МГТУ ГА, Серия "Радиофизика и электроника", вып. 193, 2013, с. 19-26.
8. Горелик А. Г., Коломиец С. Ф., Использование корреляционного интеграла в моделях рэлеевского рассеяния. Научный вестник МГТУ ГА, Серия "Радиофизика и электроника", вып. 210, 2014, с. 29-33.
9. Горелик А. Г., Коломиец С. Ф., Рассеяние радиоволн разреженной средой и статистическая радиометеорология, Научный вестник МГТУ ГА, Серия "Радиофизика и электроника", вып. 137, 2006.
10. Fujiwara, M., Raindrop size distributions from individual storms. J. Atmos. Sci., 22, 1965, p.p. 585-591.
11. Twomey, S., On the measurement of precipitation intensity by radar. J. Meteor., 10, 1953, p.p. 66-67.
12. Ulbrich, C. W., P. B. Chilson, Effects of variations in precipitation size distribution and fallspeed law parameters on relations between mean Doppler fallspeed and reflectivity factor. J. Atmos. and Oceanic Technol., 11, 1994: p.p. 1656-1663.
13. Ситников Н.М., Акмулин Д.В., Борисов Ю.А., Ситникова В.И., Соколов А.О., Улановский А.Э., Чекулаев И.И., Равеньяни Ф. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга атмосферы. Метеорология и гидрология, 2013, №1, с. 90-99.
14. Ситников Н.М., Борисов Ю.А., Чекулаев И.И., Ефремов Д.И., Акмулин Д.В., Ситникова В.И., Улановский А.Э.. Возвращаемый аэрологический зонд на базе беспилотного или дистанционно пилотируемого летательного аппарата для баллонного зондирования атмосферы. Метеорология и гидрология, 2014, №9, с.90-96.
15. Alinevanden Kroonenberg A. C., Martin T., Buschmann M., Bange J. and Vorsmann P., Measuring the Wind Vector Using the Autonomous Mini Aerial Vehicle M2AV. J. American Meteorological Society. 2008, p. 1969-1982.
16. Ситников Н.М., Чекулаев И.И., Акмулин Д.В., Катюнин А.Д., Ситникова В.И., Улановский А.Э. Расширение возможностей метеобеспечения условий распространения электромагнитного излучения в атмосфере за счет использования беспилотных летательных аппаратов. Материалы IX Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь» 23-25 ноября 2015 года, Москва.