

Оптический датчик радиозонда для измерения параметров облачности.

А.В. Кочин

Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, 141700, Московская область, г. Долгопрудный, ул. Первомайская 3, E-mail: amarl@mail.ru

Приведены результаты измерений высоты верхней границы облаков методом радиозондирования с использованием оптического датчика. Высота определяется по увеличению дисперсии падающего на датчик солнечного света. Проведены испытания метода путем сравнения радиозондовых данных с радиолокационными данными и данными самолета-метеолaborатории. По величине дисперсии сигнала в облаке определяется наличие крупных капель.

The results of measurements of the clouds top height by the radiosounding techniques using an optical sensor are presented. The height is determined by the increasing of dispersion of solar radiation which irradiates optical sensor. The method was tested by comparing with radar data and data of aircraft meteorology laboratory. The variance of signal in the cloud allows to determine the presence of large drops.

Введение

Радиозондирование выполняется дважды в день и позволяет измерить вертикальные профили температуры, влажности, давления, скорости и направления ветра от уровня Земли до высот 30 Км. Информация, полученная в ходе полета радиозонда, оперативно передается по каналам связи в информационные центры для использования в синоптических прогнозах, метеобеспечении авиации, наполнения баз климатических данных. С помощью радиозонда можно измерять высоту верхней границы облачности (ВГО). Несмотря на дискретность получения информации она необходима для метеорологического обеспечения и мониторинга спутниковых и радиолокационных методов измерения высоты ВГО, обеспечения задач прогноза и реанализа контрольной информацией и метеорологических испытаний и корректировки показаний датчиков влажности при пересечении радиозондом облаков с осадками. Высота ВГО может быть определена по данным датчика влажности [1]. Однако этот метод имеет невысокую оправдываемость (на рис.1 красная линия соответствует случаю с наличием облачности, зеленая - с отсутствием) и дает большие ошибки в определении высоты ВГО для облаков с осадками (рис.1 - синяя линия).

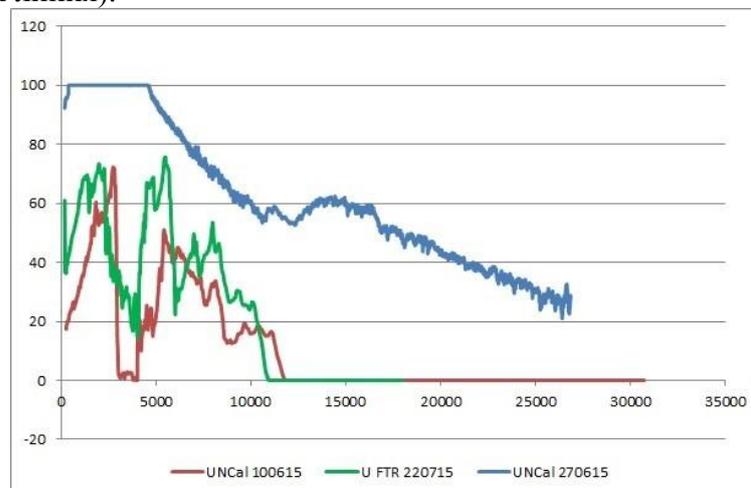


Рис.1. Профили влажности. Красная линия – слоистые облака, синяя линия – кучево-дождевые облака с осадками, зеленая линия – безоблачная атмосфера.

Также ВГО можно измерить с помощью датчиков обратного рассеяния [3], однако их стоимость довольно высока. Для широкого применения радиозондовый датчик ВГО должен иметь цену порядка цены датчика температуры. Поэтому для реализации был выбран оптический метод и использован фотодиод генераторного типа. Фотодиод подключался к входу АЦП радиозонда. Показания АЦП передавались по каналу телеметрии одновременно с координатной и метеорологической информацией. Для отработки метода было проведено пуски радиозондов в июне и июле 2015 года на АЭ Долгопрудная. В ходе анализа полученных материалов выяснилось также, что оптический датчик может быть использован и для индикации наличия крупных капель в облаках.

Метод измерения высоты ВГО

В основе измерения высоты ВГО лежит определение величины дисперсии сигнала оптического датчика радиозонда. Схематически метод измерений изображен на рис. 2.

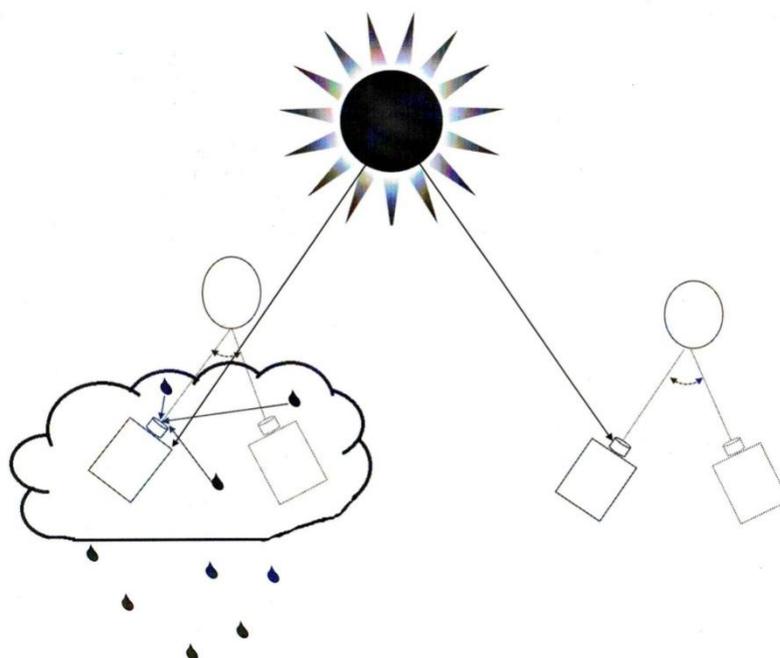


Рис.2. Принцип измерения высоты ВГО.

В ходе полета леер с прикрепленным к нему радиозондом совершает колебательные движения. В облаке фотодиод облучается ослабленной радиацией Солнца и радиацией, рассеянной каплями. Вследствие этого дисперсия суммарной облученности в облаке меньше, чем в свободном пространстве. При переходе в свободное пространство радиация, рассеянная каплями, исчезает. Соответственно высота резкого роста дисперсии является высотой ВГО. Дисперсия уменьшается вдвое на оптической толщине облака [3], которая для слоистых облаков равна 30 м. Эта величина определяет потенциальную точность измерения высоты ВГО.

Результаты измерений

Первый выпуск радиозонда с оптическим датчиком ВГО был произведен 10 июня 2015 года в ходе специально организованного эксперимента. Самолет-метеолаборатория ЯК-42 выполнял полет в районе выпуска радиозонда. Программой полета предусматривался пролет самолета в предполагаемом месте пересечения радиозондом ВГО с минимальной разницей во времени. На АЭ Долгопрудная был осуществ-

лен сдвоенный выпуск радиозондов. Плановый выпуск осуществлялся на комплексе МАРЛ-А с радиозондом МРЗ-3, а оптический датчик был подключен ко входу радиозонда М2К2 фирмы MODEM (Франция). Результаты измерений приведены на рис.3. Красная и зеленая линии являются данными датчиков влажности радиозонда М2К2 (Франция) и МРЗ-3 (Россия), соответственно. По данным датчиков влажности с некоторой вероятностью можно определить высоту ВГО (датчик М2К2 (Франция) дал более надежные измерения). Синяя линия на рис.3 это дисперсия по скользящей выборке из 20 значений сигнала оптического датчика. Резкое уменьшение влажности по данным датчиков влажности совпадает с резким ростом дисперсии сигнала оптического датчика. По данным самолета-метеолaborатории ЯК-42 высота ВГО была 2800 метров. По данным оптического датчика 2770 метров, т.е. с учетом точности измерения высоты получены одинаковые значения.

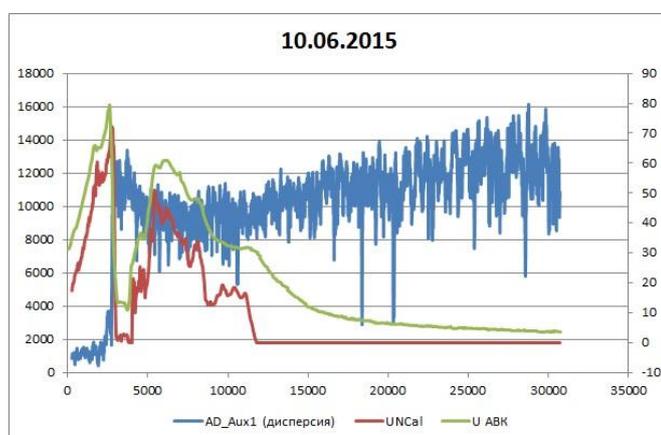


Рис.3. Результаты измерений в слоистом облаке без осадков.

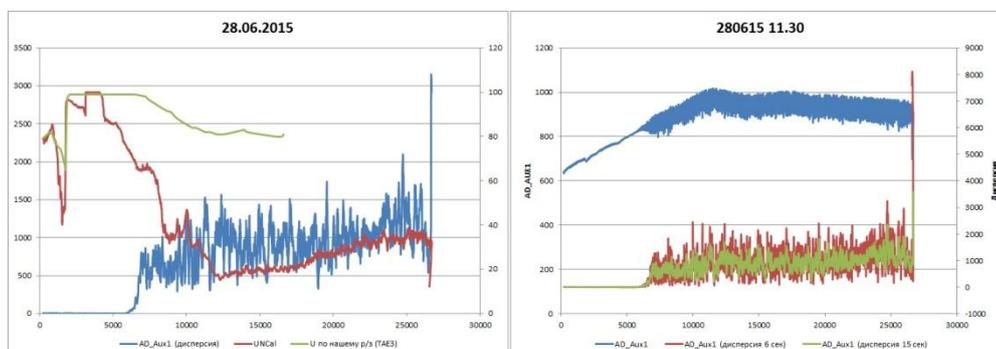


Рис.4. Результаты измерений в кучево-дождевых облаках с интенсивными осадками.

Красная и зеленая линии на левой части рис.4 являются данными датчиков влажности радиозонда М2К2 (Франция) и МРЗ-3 (Россия), соответственно. По данным датчиков влажности сложно определить точное значение высоты, особенно по датчику МРЗ-3. Синяя линия левой части это дисперсия по скользящей выборке из 20 значений сигнала оптического датчика. Резкое увеличение дисперсии сигнала оптического датчика происходит на высоте 6730 метров. По данным радиолокационных измерений высота ВГО была более 7000 метров.

Красная и зеленая линии на правой части рис.4 показывают изменчивость дисперсии при уменьшении масштаба осреднения. Синяя линия это исходный сигнал оптического датчика.

Индикация наличия осадков.

Индикатриса рассеяния капель зависит от размера капель. Облачные капли имеют размер порядка микрона. Для таких капель индикатриса вытянута вперед. Поэтому рассеянное солнечное излучение большей частью будет направлено вниз. Соответственно, дисперсия сигнала в облаке без осадков не станет равной нулю (Рис.5. Синяя линия «сырой» сигнал - красная линия дисперсия). Крупные капли, напротив, преимущественно рассеивают падающий свет в обратном направлении. Поэтому в облаке с дождевыми каплями дисперсия сигнала уменьшается до нуля. Это позволяет определить тип облачности в плане наличия или отсутствия осадков (Рисунок кучево-дождевое облако с осадками - красная линия дисперсия).

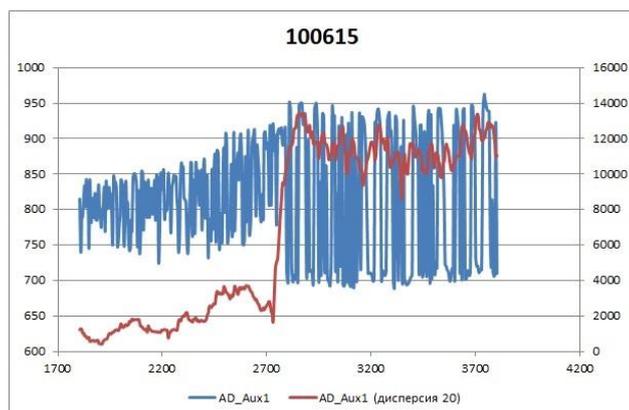


Рис.5. Результаты измерений в слоистом облаке без осадков. Синяя линия «сырой» сигнал - красная линия дисперсия

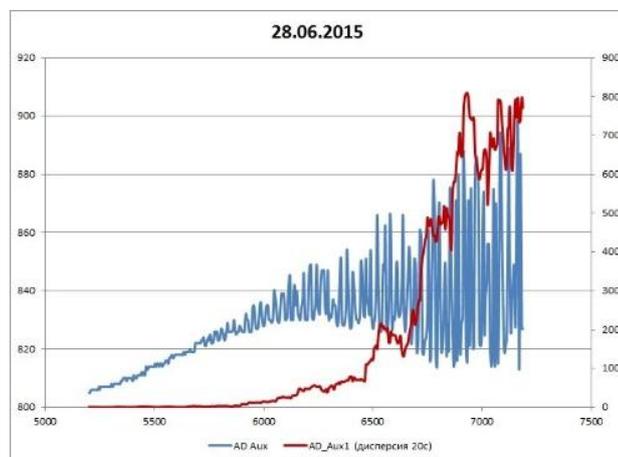


Рис. 6. Результаты измерений в кучево-дождевых облаках с интенсивными осадками. Синяя линия «сырой» сигнал - красная линия дисперсия

Дисперсия сигнала оптического датчика возрастает по мере приближения к ВГО. Величина дисперсии, характерная для слоистого облака без осадков достигается на высоте примерно на 600 метров ниже ВГО. Радиолокатор не фиксирует отражение от мелких облачных капель, т.е. в случае, приведенном на Рис. 5 радиолокатор не фиксировал отражения от слоистого облака. Таким образом можно оценить высот оптической ВГО и радиолокационной ВГО для данного случая в 600 метров. Эти данные соответствуют известным представлениям о скорости роста капель в облаках.

Заключение

Результатом работы явилось создание прибора и метода для измерения высоты ВГО в процессе аэрологического зондирования (датчик ВГО) и подготовка проекта методики проведения измерений. При проведении доработки серийного отечественного радиозонда и программного обеспечения наземных комплексов датчик ВГО можно будет использовать на метеорологических АЭ для валидации дистанционных методов высоты верхней границы облачности. Использование оптического датчика для индикации наличия крупных капель в облаках позволит оценить точность измерения областей радиэхометрическими радиолокаторами и даст информацию для научных исследований в физике облаков.

Литература

1. Зайцева Н.А. Аэрология. П.: Гидрометеиздат, 1990. - 325 с.
2. Фейгельсон Е.М. Лучистый теплообмен и облака. Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 230с.
3. J. M. Rosen and N. T. Kjome. Backscattersonde: a new instrument for atmospheric aerosol research// Applied Optics. 1991. Vol. 30, Issue 12, pp. 1552-1561