

Исследование вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков по данным микроволновой радиометрии

Д.М. Караваев, А.Н. Ефременко, Г.Г.Щукин

*Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации,
E-mail: dm.karavaev@mail.ru*

Представлены результаты экспериментальных исследований временных вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков на микро-мезоисиноптических масштабах по данным микроволновой радиометрии. Получены гистограммы влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков, оценки интенсивности вариаций параметров влагосодержания атмосферы при различных метеорологических условиях на примере эксперимента, проведенного в 2018 г. в Геофизической обсерватории Лехтуси.

Experimental studies of temporal variations of atmospheric integrated water vapor and cloud liquid water supply on micro and mesoscales according to ground based microwave radiometry data are presented. The histograms of the moisture supply of the atmosphere and the water supply of clouds, the assessment of the intensity of variations in the parameters of the moisture content of the atmosphere under different meteorological conditions, on the example of an experiment conducted in 2018 at the Geophysical Observatory of Lehtusi were obtained.

Введение

Отечественные исследования в области радиотеплолокации (микроволновой радиометрии) для задач метеорологии продолжают, начиная с начала 60-х [1-8]. Одна из задач, которая эффективно решается с использованием наземной радиотеплолокации связана с измерениями интегральных характеристик влагосодержания атмосферы, к которым относятся содержание парообразной влаги в атмосфере (влагозапас атмосферы) и жидкокапельной влаги в облаках (водозапас облаков).

Интерес к исследованиям характеристик влагосодержания атмосферы связан с исключительной ролью, которую играет водяной пар атмосферы в динамике атмосферных процессов, в процессах образования облаков и осадков, развитии опасных явлений погоды, связанных с облаками. Существует дефицит исследований и моделирования сложно прогнозируемых мелкомасштабных изменений влажности воздуха в атмосфере и водности облаков. Поэтому в современных исследованиях все больше внимания уделяется исследованиям микро и мезомасштабных вариаций метеорологических параметров атмосферы, которые возможно проводить с помощью средств дистанционного зондирования. Например, средства радиотеплолокации позволяют обнаружить ряд деталей в мезомасштабной структуре атмосферных фронтов, которые интересны для совершенствования практических методов синоптического анализа и методов диагностирования метеорологических условий. Данные о временной изменчивости характеристик радиотеплового излучения и параметров влагосодержания атмосферы могут рассматриваться в качестве предикторов для методов прогнозирования облачности и осадков. Перспективные исследования связаны с решением актуальной задачи совершенствования методов прогноза опасных явлений погоды, связанных с облаками.

Целью работы является анализ результатов экспериментальных исследований временных микро и мезомасштабных вариаций радиотеплового

излучения атмосферы, влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков с применением наземных радиометров водяного пара.

Методики исследований вариации влаго-водозапаса атмосферы

Методика проведения радиотеплолокационных исследований вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков основана на применении метода наземной радиотеплокации [1] и использования наземных микроволновых радиометров, работающих вблизи центра линии поглощения водяного пара 22.235 ГГц. Методика радиотеплолокационных наблюдений заключалась в измерениях радиоярких температур на двух частотах в диапазонах 20.6-22.235 ГГц и 31-37 ГГц (в зенитном направлении или при фиксированном угле места) по методике временных разрезов и определение влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков при отсутствии осадков по методикам [1,4]. Применение такого подхода требует использования высокостабильных, предварительно откалиброванных радиометров. Известно, что определение характеристик радиотеплового излучения возможно также по методу угломестных разрезов, который может использоваться как один из методов контроля данных. Современные микроволновые радиометры способны работать в режиме автоматических наблюдений при дискретности измерений от единиц секунд, что позволяет исследовать особенности вариаций радиотеплового излучения атмосферы и параметров влагосодержания атмосферы в широком диапазоне пространственно-временных масштабов, включая микро, мезо и синоптические масштабы.

Методы интерпретации радиотеплолокационных измерений основаны на исследованиях: особенностей статистических распределений влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков в различных регионах; микро и мезомасштабных вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков, структурных функций влагозапаса атмосферы, корреляции влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков; вариаций влагозапаса атмосферы в период развития опасных явлений погоды, связанных с облаками и разработка критериев развития опасных явлений.

Экспериментальные исследования влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков выполнялись в различных регионах: над океаном и над сушей, их результаты рассматривались в [2,4,7]. В 2018 году в Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, расположенной в п. Лехтуси Ленинградской области, был проведен микроволновый эксперимент с использованием радиометра водяного пара ИПА РАН [6]. Используемый микроволновый радиометр построен по классической схеме двухчастотного радиометра полной мощности с супергетеродинным приемником. Выбранная комбинация рабочих частот (20.6/32.0 ГГц) близка к оптимальной для решения задачи отдельного определения влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков. Ширина луча диаграммы направленности антенны (по уровню 3 дБ) составляет около 7 град., флуктуационный порог чувствительности составляет менее 0.1 К/с^{1/2}. Системы термостатирования и «внутренней» калибровки радиометра обеспечивают возможность проведения длительных непрерывных измерений в автоматическом режиме. Подробные сведения об архитектуре и технических характеристиках прибора рассмотрены в [5]. По предварительным оценкам погрешность определения влагозапаса атмосферы составляет около 0,5 кг/м², водозапаса облаков - около 0,03 кг/м².

В период эксперимента с 22 марта по 12 октября 2018 г. тестировалась методика абсолютных измерений радиоярких температур на двух частотах в зенитном направлении с дискретностью 5 секунд. Полученные данные измерений радиоярких температур на двух частотах использовались для определения

влажностного запаса атмосферы и водозапаса облаков. Анализ временных вариаций влажностного запаса атмосферы и водозапаса облаков при различных метеорологических условиях показывает, что интенсивности вариаций влажностного запаса атмосферы в значительной степени зависят от метеорологических условий.

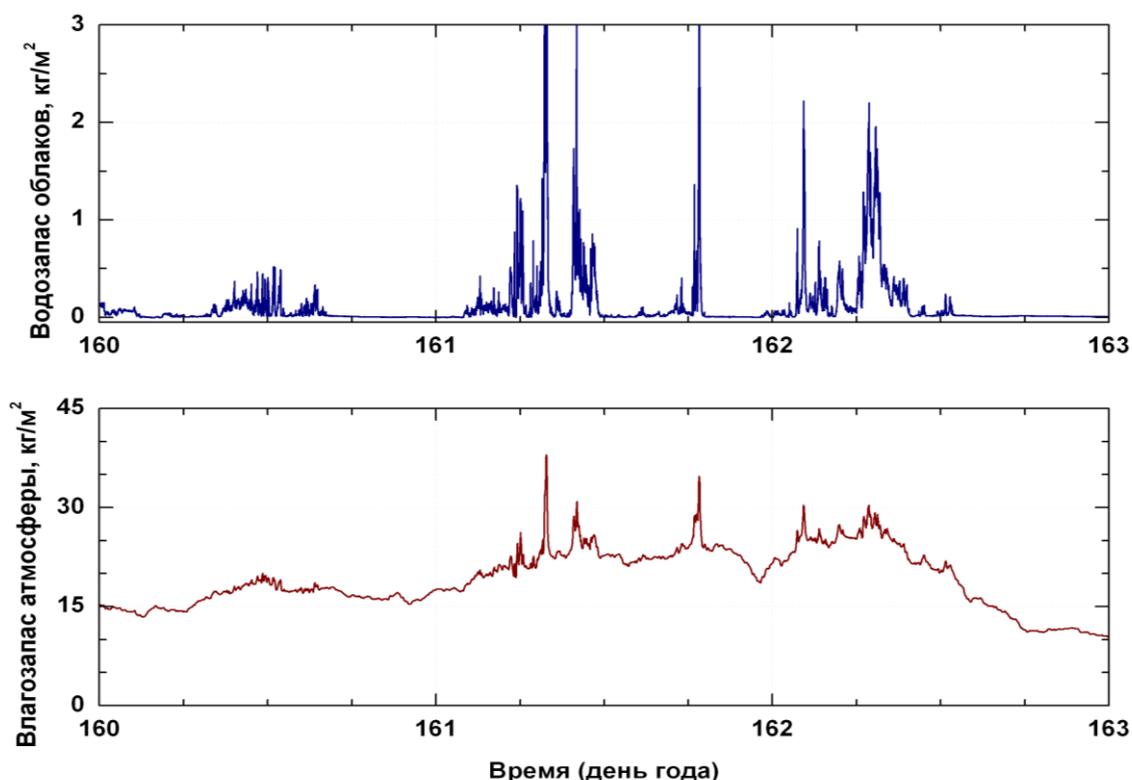


Рис. 1. Временной ход водозапаса облаков и влажностного запаса атмосферы по радиометрическим измерениям 10-12 июня 2018г., Лехтуси

Для иллюстрации на рисунке 1 рассматривается пример временной изменчивости водозапаса облаков и влажностного запаса атмосферы и в период с 10 по 12 июня 2018 г. в Лехтуси Ленинградской области. Видно, что в период с 10 по 11 июня происходили существенные изменения (рост) влажностного запаса атмосферы в интервале от ~15 до 27 кг/м³. Качественно микроволновые радиометрические измерения влажностного запаса атмосферы согласуются с независимыми наблюдениями удаленной (на расстояние около 40 км) станции аэрологического зондирования в п. Воейково, - уменьшение влажностного запаса атмосферы по данным радиозондирования 12 июня составляло около 14.3 кг/м³. Вариации водозапаса облаков 11 и 12 июня составляли более 2 кг/м³. Столь значительные изменения влажностного запаса атмосферы и водозапаса облаков, по всей видимости, обусловлены прохождением сложной системы атмосферных фронтов в области циклона.

Для сравнения рассматривается случай наблюдения безоблачной атмосферы 09 мая 2018г. Суточные вариации влажностного запаса атмосферы составляли не более 1.8 кг/м³ (рис.2а) при относительно невысоких для периода исследований значениях влажностного запаса атмосферы около 7-9 кг/м³. Синоптическая ситуация в этот день определялась влиянием антициклона.

Для описания временных вариаций влажностного запаса атмосферы на различных пространственных интервалах, в качестве гипотезы, исследуется полуэмпирическая модель для структурной функции влажностного запаса атмосферы, в соответствии с которой выделяются три различные области изменения структурной функции: при $t_0 < t < t_1$,

$D_Q(t)=C_1^2 t^{5/3}$; при $t_1 < t < t_2$, $D_Q(t)=C_2^2 t^{2/3}$; при $t_2 < t, D_Q(t)=C_3^2 t_2^{2/3}$. Здесь, C_i - средние структурные коэффициенты; t, t_1, t_2 - характерные временные масштабы.

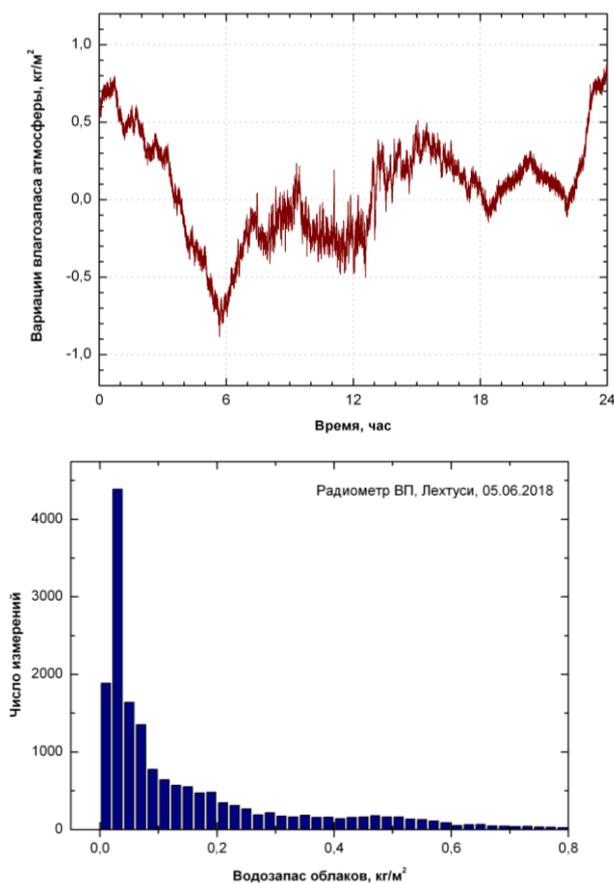


Рис. 2. а) -Временные вариации влагозапаса атмосферы 09.05.2018 г., б)-гистограмма водозапаса облаков по радиометрическим измерениям 05.06.2018 г., п.Лехтуси

Дальнейшие исследования связаны с развитием и внедрением в практику метеорологических измерений методов сетевого микроволнового радиометрического влажностного и температурно-влажностного зондирования атмосферы. В Ленинградской области имеются определенные, потенциальные возможности для развития региональной мезосети микроволновых радиометров для задач (наукастинга) и сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений погоды, связанных с облаками и отработки новых технологий анализа метеорологической обстановки.

Перспективные направления применения наземной микроволновой радиометрии в прикладной метеорологии: наукастинг и сверхкраткосрочный прогноз опасных явлений погоды, связанных с облаками; оперативный контроль тропосферной задержки радионавигационных сигналов; подспутниковые эксперименты для калибровки и валидации спутниковых данных температурно-влажностного зондирования атмосферы.

Выводы

Выполненные исследования подтверждают возможности метода наземной микроволновой радиометрии для определения влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков. Показана возможность проведения длительных радиотеплолокационных измерений влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков с помощью микроволнового радиометра водяного пара для исследований вариаций характеристик влагосодержания

атмосферы на временных микро, мезо и синоптических масштабах. Получены новые экспериментальные данные измерений радиотеплового излучения атмосферы вблизи линии поглощения водяного пара 22.235 ГГц и исследований вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков при различных метеоусловиях в Ленинградской области.

Литература

1. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 253с.
2. Караваев Д.М., Щукин Г.Г. Состояние и перспективы применения микроволновой радиометрии атмосферы // Оптика атмосферы и океана. - 2015. - Т.28. - №12. - С.1122-1127.
3. Егоров Д. П., Кутуза Б. Г. О точности определения влагосодержания при СВЧ-радиометрическом зондировании атмосферы в резонансной области поглощения водяного пара 18–27 ГГц // Распространение радиоволн. Труды XXVI Всероссийской открытой конференции. Казань, - Изд-во Казан. Ун-та, 2019. –Т.2. -С.254-257.
4. Караваев Д.М., Щукин Г.Г. Исследование вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков методом микроволновой радиометрии // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т.32. №11. С. 930-935.
5. Ильин Г.Н., Быков В.Ю., Стэмповский В.Г., Шишкин А.М. Высокостабильный двух-канальный радиометр водяного пара для измерений тропосферной задержки в реальном времени // Труды ИПА РАН. 2013. Вып.27. С.210-215.
6. Быков В.Ю., Ильин Г.Н., Караваев Д.М., Щукин Г.Г. Результаты микроволнового эксперимента: перспективы радиометра водяного пара // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. Вып.670. С.150-153.
7. Ефременко А.Н., Караваев Д.М., Щукин Г.Г. О возможности построения полуэмпирической модели вариаций влагозапаса атмосферы по данным микроволновой радиометрии. IX Армандовские чтения: Всероссийская научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром, 28-30 мая 2019г. Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2019, с.291-294.
8. Kutuza B.G. Spatial and temporal fluctuations of atmospheric microwave emission // Radio Sci. 2003. V. 38, N 3. P. 8047–8059.