

Исследование вариаций характеристик влагосодержания атмосферы по данным наземных микроволновых радиометров

Д.М. Караваев, Г.Г. Щукин

*Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13.
E-mail: dm.karavaev@mail.ru*

Рассмотрен метод радиотеплолокации для определения характеристик влагосодержания атмосферы и результаты экспериментальных исследований вариаций содержания парообразной и жидкокапельной влаги в атмосфере по данным наземных микроволновых радиометров. Результаты исследования временных и пространственных вариаций характеристик влагосодержания атмосферы, подтверждают перспективы использования радиотеплолокационной информации для задач прогноза опасных явлений погоды, связанных с развитием конвективных облаков, гроз.

Ключевые слова: влагозапас атмосферы, водозапас облаков, микроволновый радиометр,

Investigations of the atmospheric moisture contents variations using ground-based microwave radiometers

D.M. Karavaev, G.G. Shchukin

Mozhaisky military aerospace academia

The method of microwave radiometry to determine the characteristics of atmospheric moisture contents and some results of experimental studies of temporal and spatial variations in the water vapor and cloud liquid water contents using ground microwave radiometers are considered. The results of the study the variations in the characteristics of atmospheric moisture confirm the prospects of using microwave radiometric information for forecasting of dangerous weather events associated with the development of convective clouds, thunderstorms.

Keywords: water vapor, cloud liquid water contents, microwave radiometers

Введение

В современных исследованиях все больше внимания уделяется мезомасштабным вариациям важнейших для задач прогноза погоды и наукастинга метеорологических параметров атмосферы, которые возможно проводить с помощью наземных средств дистанционного зондирования [1-3]. Характеристики влагосодержания атмосферы крайне изменчивы, поэтому для совершенствования информационного обеспечения задач прогноза опасных явлений погоды, связанных с облаками, важно использование практически непрерывных измерений с высокими характеристиками пространственно-временного разрешения. Существует дефицит экспериментальных исследований микро и мезо масштабных временных и пространственных вариаций характеристик влагосодержания атмосферы, поэтому, целью работы ставилось анализ результатов экспериментальных исследований временных и пространственных микро и мезомасштабных, а также синоптических вариаций содержания парообразной и жидкокапельной влаги в атмосфере по данным измерений радиотеплового излучения атмосферы с помощью наземных микроволновых радиометров.

Методики радиотеплолокационных исследований и результаты экспериментов

Применяемая методика исследований атмосферы и характеристик влагосодержания атмосферы основана на применении: методики радиотеплолокационных измерений радиоярких температур на двух частотах в диапазонах около 20,6 – 22,23 ГГц и 31-37 ГГц для отдельного определения содержания парообразной (влагозапаса) атмосферы и жидкокапельной влаги (водозапаса) облаков; методики радиотеплолокационных исследований характеристик радиотеплового излучения облаков на двух частотах в диапазонах около 9.3 и 36 ГГц для определения содержания жидкокапельной влаги (водозапаса) мощных конвективных облаков. Микроволновые радиометры позволяют исследовать особенности временных и пространственных вариаций радиотеплового излучения атмосферы и параметров влагосодержания атмосферы в диапазоне временных масштабов от нескольких секунд.

Экспериментальные исследования с применением микроволновых радиометров выполнялись в различных регионах при различных метеорологических условиях [1-4]. Задачи, которые решались в рамках экспериментов следующие: уточнение, апробация методик измерения характеристик радиотеплового излучения атмосферы и определения интегральных параметров влагосодержания атмосферы; сравнительные эксперименты по оценке погрешности определения влагозапаса атмосферы из результатов радиотеплолокационных измерений характеристик атмосферы при различных метеорологических условиях; изучение пространственной и временной изменчивости влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков в различных регионах при различных метеорологических условиях; исследование влагозапаса атмосферы, содержащей мощные конвективные (грозовые) облака и осадки и водозапаса мощных конвективных облаков (переохлажденной части) на основе комплексного использования пассивно-активных средств дистанционного зондирования атмосферы.

Радиотеплолокационные исследования являлись частью комплексных исследований опасных явлений погоды, конвективных облаков, грозовых облаков, которые проводились на полевой экспериментальной базе Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова в п. Тургош, на базе Научно-исследовательского центра дистанционного зондирования атмосферы в п. Воейково; в Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского в п. Лехтуси Ленинградской обл. [5].

Примеры исследования временной изменчивости влагозапаса атмосферы в период развития мощных конвективных облаков и гроз показаны на рис.1. Первый пример временного хода влагозапаса атмосферы в период интенсивного развития гроз (в июле) в п. Тургош Ленинградской обл. приведен на рис.1,а. На рисунке также отмечены периоды, когда по радиолокационным и атмосферно-электрическим наблюдениям детектировалось развитие мощных конвективных облаков. Эксперименты показали, что вариации влагозапаса атмосферы в окрестности грозового облака могут значительно превышать вариации влагозапаса, наблюдаемые для невозмущенной атмосферы. Второй пример показывает временной ход водозапаса облаков (рис.1,б) и влагозапаса атмосферы (рис.1,в) в п. Воейково, при прохождении мощного грозового фронта 14 июля 2008 г. в Ленинградской обл. По данным метеорологического радиолокатора высота верхней границы облачности в этот день достигала 13 км. Результаты комплексных экспериментов с применением средств активной и пассивной радиолокации показали возможность использования радиотеплолокационной информации для построения предиктора развития опасных явлений погоды, связанных с развитием облаков.

В экспериментах получил развитие метод определения водозапаса конвективных облаков из результатов измерений характеристик радиотеплового излучения облачной

атмосферы на частотах около 9,3 и 36,5 ГГц. Методика измерений основана на реализации метода угломестных и азимутальных разрезов атмосферы с применением сканирующей узконаправленной антенны с шириной луча около 0,3 - 1 град. по уровню 3 dB. Пример пространственно-временной эволюции водозапаса конвективного облака на стадии диссипации в п. Тургош приводится на рис.2. Как видно из рис.2а в конвективном облаке в 18 ч 45 мин выделяются 2 ячейки с водозапасом 6 - 10 кг/м², которые в течение 10 мин трансформируются в одну ячейку (рис.2,б), в 19 ч 08 мин водозапас облака составлял менее 2 кг/м².

В последние годы в Геофизической обсерватории п. Лехтуси проведены эксперименты с применением радиометра водяного пара (работающего при частотах около 20,7 и 32,0 ГГц) Института прикладной астрономии РАН [6]. Антенны микроволновых радиометров реализуют угловое разрешение около 7 град., флуктуационный порог чувствительности составляет менее 0,1 К при постоянной времени 1 с. В соответствии с используемой методикой измерения радиоярких температур в зенитном направлении проводились с темпом от 5 с.

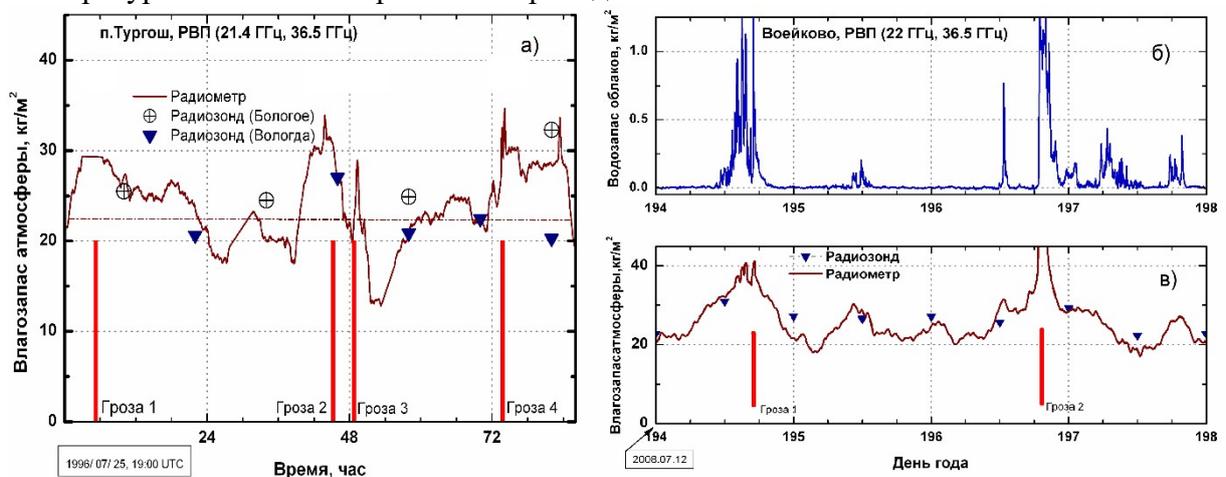


Рис. 1. Влагозапас атмосферы в период развития конвективных облаков, гроз:
а) – влагозапас атмосферы, п.Тургош; б) – водозапас облаков, п. Воейково; в) –влагозапас атмосферы, п. Воейково

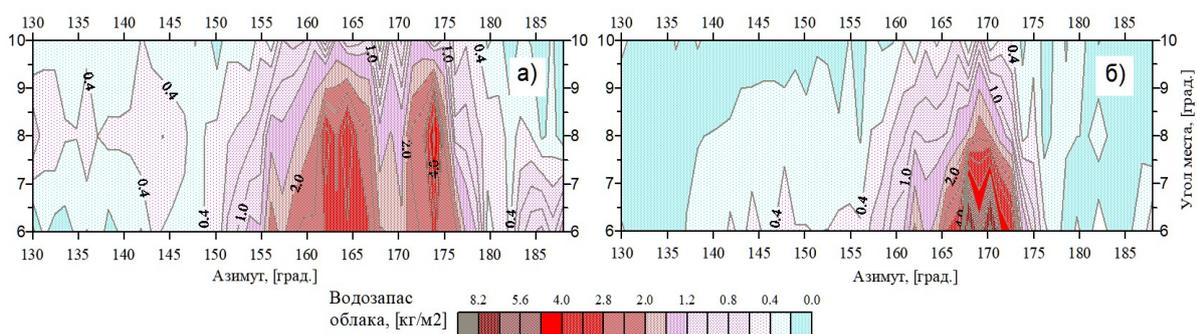


Рис. 2. Пространственно-временные вариаций водозапаса конвективного облака:
а) - 18 ч 45 мин; б) - 18 ч 55 мин

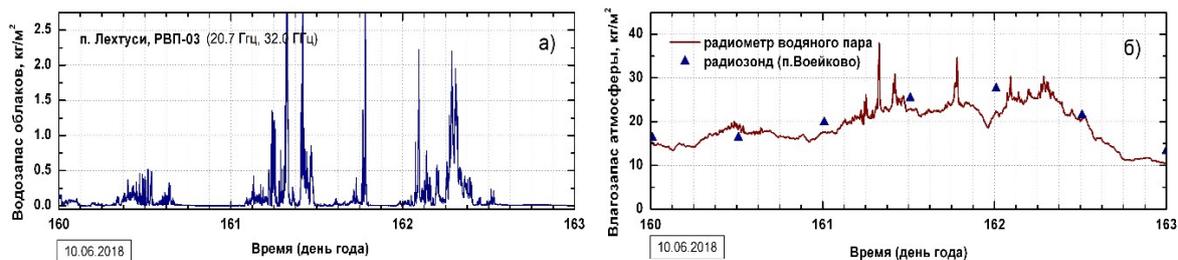


Рис. 3. Временные вариации характеристик влагосодержания атмосферы в области атмосферных фронтов, п. Лехтуси: а) – водозапас облаков, б) – влагозапас атмосферы

Для примера на рис.3 показаны временной ход водозапаса облаков (рис.3,а) и влагозапаса атмосферы (рис.3,б) 10 - 12 июня 2018 г. в п. Лехтуси Ленинградской области. Видно, что в период с 10 по 11 июня наблюдался рост влагозапаса атмосферы в от ~ 15 до 30 кг/м^2 . Качественно полученные данные о влагозапасах атмосферы из радиотеплолокационных измерений согласуются с результатами аэрологического зондирования в п. Воейково. Вариации водозапаса облаков 11 и 12 июня составляли от 0 до 2 кг/м^2 и более. Значительные вариации характеристик влагосодержания атмосферы в рассматриваемый период обусловлены прохождением атмосферных фронтов. Для исследования мезомасштабных пространственных и временных вариаций характеристик влагосодержания атмосферы интерес представляют пространственно-разнесенные радиотеплолокационные измерения на основе применения однотипных микроволновых радиометров водяного пара. В период недавних экспериментов в Ленинградской области такие исследования проводились при базовых расстояниях от 20 до 80 км. Дальнейшие исследования в области совершенствования информационного обеспечения задач наукастинга и сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений погоды, связанных с облаками, осадками, могут быть основаны на комплексном использовании средств Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, а также с перспективных средств микроволнового радиометрического влажностного и (или) температурно-влажностного зондирования атмосферы.

Выводы

Представлены результаты радиотеплолокационных исследований пространственных и временных вариаций характеристик влагосодержания атмосферы при различных метеорологических условиях в Ленинградской обл. Дальнейшие исследования связываются с развитием микроволнового радиометрического зондирования для совершенствования технологий сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений, связанных с облаками, на основе средств Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского п. Лехтуси Ленинградской обл.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 21-19-00378), <https://rscf.ru/project/21-19-00378/>

Литература

1. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. - Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 253 с.
2. Караваев Д.М., Щукин Г.Г. Совершенствование методов раннего предупреждения развития грозных процессов и выявления зон обледенения в облаках на основе

комплексного использования методов активной и пассивной радиолокации // Гидрометеорология и экология. 2021, вып.62, С.7-26.

3. Караваев Д.М., Шукин Г.Г. Состояние и перспективы применения микроволновой радиометрии атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 2015, Т.28, №12, С.1122-1127.

4. Караваев Д.М., Шукин Г.Г. Исследование вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков методом микроволновой радиометрии // Оптика атмосферы и океана. 2019, Т.32, №11, С. 930-935.

5. Готюр И.А., Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., и др. Состояние и перспективы создания геофизической обсерватории ВКА имени А.Ф. Можайского // Труды ВКА. 2018, вып. 662, С.184-187.

6. Быков В.Ю., Ильин Г.Н., Караваев Д.М., Шукин Г.Г. СВЧ радиометрические измерения содержания парообразной и жидкокапельной влаги в тропосфере // Труды ВКА. 2020, вып.674, С.128-132.