

Совершенствование наукастинга влагосодержания атмосферы и опасных метеоявлений с применением наземной радиотеплолокации

Д.М. Карavaев¹, Г.Г. Щукин^{1,2}, А.Н. Ефременко¹

¹ Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, Ждановская улица, 13.

E-mail: yka@mil.ru

² Муромский институт (филиал) ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых 602264, г. Муром, ул. Орловская, 2.

Представлены результаты радиотеплолокационных исследований влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков в период развития связанных с облаками опасных явлений, при прохождении атмосферных фронтов циклонов в Ленинградской области. Предложены варианты использования радиотеплолокационной информации для совершенствования наукастинга влагосодержания атмосферы и раннего предупреждения связанных с облаками опасных явлений, мощных конвективных облаков и грозовых процессов.

Ключевые слова: наукастинг опасных явлений, радиотеплолокация, влагозапас атмосферы, водозапас облаков, конвективные облака, атмосферные фронты, грозы

Nowcasting of atmospheric moisture parameters and dangerous weather phenomena using of the ground-based microwave radiometry

D.M. Karavaev¹, G.G. Shchukin^{1,2}, A.N. Efremenko¹

¹ *Mozhaisky Military Aerospace Academy.*

² *Murom Institute of Vladimir State University.*

Some results of experimental passive microwave studies of the integrated water vapor and liquid content during development of dangerous weather phenomena as well as during the passage of atmospheric fronts in Leningrad region are presented. Options using microwave radiometric information to improve early warning methods of the development of powerful convection and thunderstorms are proposed.

Keywords: nowcasting weather phenomena, microwave radiometry, water vapor, liquid water, convective clouds, atmospheric front, thunderstorm

Введение

Дистанционные методы и средства наземной радиотеплолокации применяются для влажностного зондирования облачной атмосферы [1,2], дают возможность регистрировать одновременно содержание парообразной и жидкокапельной влаги в атмосфере в реальном времени с высоким пространственно-временным разрешением. Такие возможности важны для совершенствования методов наукастинга влагосодержания атмосферы и опасных явлений погоды, технологий раннего предупреждения связанных с облаками опасных явлений погоды, сверхкраткосрочного прогнозирования [3-5]. В статье продолжаются комплексные исследования опасных явлений [6,7] с применением наземных радиотеплолокационных измерений параметров влагосодержания атмосферы для выявления особенностей мезомасштабной структуры атмосферных фронтов циклонов, условий развития связанных с облаками опасных явлений, мощных конвективных облаков. Целью работы ставится исследование методов наземной радиотеплолокации для совершенствования наукастинга параметров

влажносодержания атмосферы и опасных гидрометеорологических явлений, методов оперативного анализа синоптической обстановки и диагностики атмосферных фронтов, раннего предупреждения развития опасных явлений.

Методы радиотеплолокации в задачах наукастинга опасных явлений

Исторически наукастинг основывался на слежении за состоянием природной среды по результатам анализа последовательности спутниковых или радиолокационных изображений метеообразований, что позволяло с учетом инерционности атмосферных процессов прогнозировать изменение состояния среды на близкие интервалы времени до 3-6 час [3,4].

Для обеспечения задач наукастинга современное внимание уделяется технологиям оперативного получения обновляемых наблюдений высокого разрешения (методам и средствам дистанционного зондирования) за грозами, градом, интенсивными дождями, сильным ветром, видимостью (туманом), осадками холодного периода и другими явлениями. При этом, система комплексного отображения разнородных данных метеорологических радиолокаторов, спутниковых приборов, сети грозопеленгации, приземных станций метеорологических измерений, профиломеров ветра, станций радиозондирования атмосферы и других технических средств позволяет прогнозистам проводить непрерывный мониторинг наблюдений широкого круга параметров среды, что важно для анализа и прогнозирования развития сложных погодных явлений со значительными воздействиями и последствиями.

Преимущества применения методов наземной радиотеплолокации для обеспечения задач наукастинга связаны с совершенствованием подсистемы аэрологического зондирования атмосферы посредством возможности получения практически непрерывной информации о влагозапасе атмосферы, водозапасе облаков, а также профилей температуры воздуха в тропосфере. Получаемая информация, характеризующая состояние атмосферы, используется для раннего выявления благоприятных для развития опасных явлений погоды условий.

Результаты предыдущих исследований связанных с облаками опасных явлений с применением метода наземной радиотеплолокации позволяют сделать следующие выводы:

- информация о влагозапасе атмосферы, получаемая по данным наземных радиометров влажностного зондирования атмосферы (работающих в области спектра частот около 22.235-37.0 ГГц) в режиме непрерывных измерений с дискретностью получения данных около 1 мин и погрешностью около 0.5-1 кг/м², перспективна к использованию для задач раннего предупреждения развития мощных конвективных облаков, грозовых процессов;

- наземные радиометры позволяют выявлять особенности изменений водозапаса облаков и влагозапаса атмосферы над пунктом зондирования, уточнять мезомасштабную структуру характеристик влажносодержания в области атмосферных фронтов, что перспективно использовать для задач диагностики атмосферных фронтов.

Результаты экспериментов

Результаты экспериментов по применению наземных микроволновых радиометров диапазона частот 22.2 и 36.5 ГГц для исследования мезомасштабных вариаций водозапаса облаков и влагозапаса атмосферы при различных метеорологических условиях, в том числе в области атмосферных фронтов циклонов рассматривались в [6,7]. В области наблюдаемых атмосферных фронтов часто регистрировались значительные изменения влагозапаса атмосферы, причем в области теплых фронтов циклонов рост влагозапаса атмосферы обычно предшествовал росту водозапаса облаков.

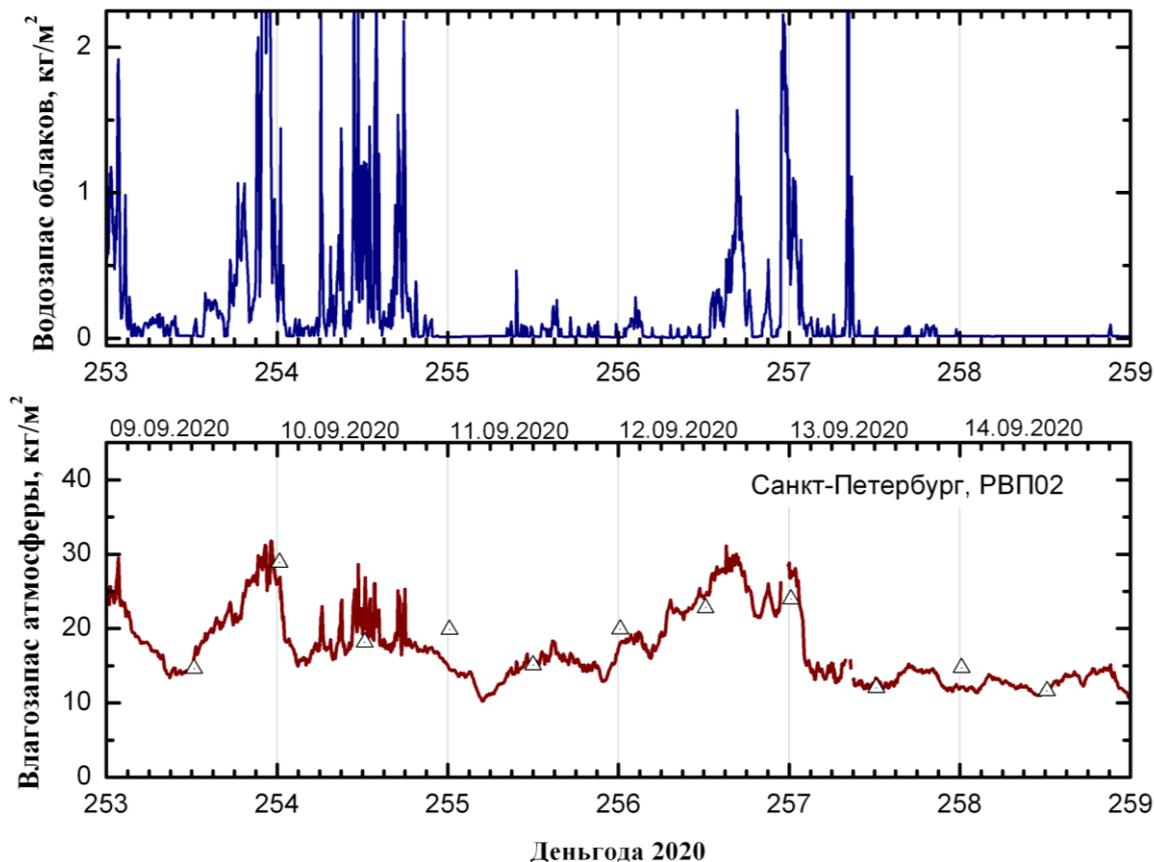


Рис. 1. Временной ход водозапаса облаков и влагозапаса атмосферы по данным радиотеплолокации в период с 09 по 14 сентября 2020 г. в г. Санкт-Петербург

В качестве примера рассмотрим случай наблюдения прохождения атмосферного фронта циклона в период с 09 по 14 сентября 2020 г. в Ленинградской области. Временной ход влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков по данным радиотеплолокационных измерений с помощью радиометров водяного пара 20.7 и 32 ГГц в Санкт-Петербурге приводится на рис.1. Изменения влагозапаса атмосферы за рассматриваемый период составляли от 10 до 27 кг/м². Данные радиометра по влагозапасу атмосферы качественно согласуются с данными радиозондирования в пос. Воейково (представлены символом «треугольник» на рис.1).

09.09.2020г. наблюдалось прохождение холодного фронта. Во второй половине суток при прохождении фронта окклюзии, который объединял облачные системы теплого и холодного фронтов, наблюдался рост влагозапаса атмосферы до значений около 30 кг/м². Водозапас облаков, как видно из рисунка, растет волнообразно, достигая значений около 2 кг/м² и более.

10.09.2020г. наблюдалось прохождение спирали фронта окклюзии с запада, - вблизи центра циклона в этот период наблюдались наибольшие вариации водозапаса облаков более 2 кг/м².

11.09.2020 г. в начале дня отмечалось уменьшение влагозапаса атмосферы до ~10 кг/м², что ассоциируется с прохождением холодного фронта. Водозапас облаков не превышал значений около 0.3-0.5 кг/м².

12.09.2020 г. синоптический анализ свидетельствует о прохождении через ст. Санкт-Петербург теплого фронта, - в этот период наблюдается волнообразный рост влагозапаса

атмосферы до ~ 30 кг/м². Водозапас облаков в отдельные моменты достигал значений около 1.5-2.2 кг/м².

13.09.2020 г. наблюдалось прохождение холодного фронта в области которого влагозапас атмосферы уменьшается до ~ 12 кг/м². Кратковременные вариации водозапаса облаков в отдельные периоды превышали 2.0 кг/м².

14.09.2020г. наблюдались безоблачные условия, что подтверждалось по спутниковым данным, и согласуется с радиотеплолокационной информацией по водозапасу облаков (рис 1). Вариации влагозапаса атмосферы в этот период происходили в интервале от 11 до 15 кг/м².

На основе анализа случаев прохождения атмосферных фронтов выявляются закономерности временной изменчивости влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков: в области теплых фронтов рост водозапаса облаков начинается позже относительно начала роста влагозапаса атмосферы, что можно объяснить особенностями процессов облако- и осадкообразования. Данные измерений радиометров позволяют уточнить как синоптическую структуру атмосферных фронтов, так и их пространственно-временную мезоструктуру по вариациям водозапаса облаков и влагозапаса атмосферы. Продолжение исследований мезомасштабной структуры атмосферных фронтов связываются с расширением возможностей проведения в регионе пространственно-разнесенных измерений характеристик влагосодержания атмосферы.

Комплексные исследования атмосферы с применением микроволновых радиометров, метеорологических радиолокаторов, средств регистрации грозовых разрядов проводились в Ленинградской области в том числе в период, когда наблюдалось развитие конвективных облаков и грозовых процессов [5]. Эксперименты показали возможность использования оперативных данных о влагозапасе атмосферы для раннего предупреждения развития мощных конвективных облаков и грозовых процессов, - предложен радиометрический критерий развития мощных конвективных облаков, гроз. В качестве предикторов использовались значения влагозапаса атмосферы и его изменения во времени, которые определяли по данным двухчастотного микроволнового радиометра при частотах около 22.2 и 36.5 ГГц.

Учитывая возможности наземной радиотеплолокации, дальнейшее совершенствование метода раннего предупреждения развития грозовых процессов определяется применением комплексных методов радиолокации, радиотеплолокации и атмосферно-электрических измерений для определения параметров атмосферы, характеристик облаков, осадков, а также молниевых разрядов. Метод включает: а) мониторинг текущего состояния атмосферы с применением радиометров влажностного (влажностно-температурного) зондирования атмосферы с целью заблаговременного выявления благоприятных условий для развития мощных конвективных облаков и грозовых процессов; б) выявление зон повышенного содержания жидкокапельной влаги в переохлажденной части облака с помощью радиометров, работающих совместно с радиолокатором.

Выводы

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований с применением наземных радиотеплолокаторов характеристик влагосодержания атмосферы при различных метеорологических условиях в Ленинградской области, в том числе при прохождении атмосферных фронтов циклонов. Проведенные эксперименты продемонстрировали возможности уточнения диагностики мезомасштабной структуры атмосферных фронтов на основе применения средств наземной радиотеплолокации, и совершенствования методов раннего предупреждения опасных явлений, связанных с развитием мощных конвективных облаков и грозовых процессов. Таким образом, метод

наземной радиотеплолокации является перспективным для совершенствования наукастинга характеристик влагосодержания атмосферы и опасных явлений погоды.

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

Литература

1. Степаненко В.Д., Шукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. Ленинград: Гидрометеиздат. 1987. 253 с.
2. Караваев Д.М., Шукин Г.Г. Определение содержания парообразной и жидкокапельной влаги из измерений микроволнового излучения атмосферы. // Известия вузов. Радиофизика. 2021. Т. 64. № 12. С.942-953.
3. Киктев Д.Б., Муравьев А.В., Смирнов А.В. Наукастинг метеорологических параметров и опасных явлений: опыт реализации и перспективы развития // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 4 (374). С. 92-111.
4. WMO Guidelines for Nowcasting Techniques // WMO-No. 1198. 2017. 82 p.
5. Караваев Д.М., Шукин Г.Г. Совершенствование методов раннего предупреждения развития грозовых 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.
6. Караваев, Д.М., Лебедев А.Б., Шукин Г.Г. Использование наземной радиотеплолокации для исследования структуры атмосферных фронтов и прогноза опасных явлений погоды // XII Всероссийские открытые Армандовские чтения: «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» / Материалы Всероссийской открытой научной конференции. –Муром: ИПЦ МИ ВлГУ. 2022. С.336-340.
7. Караваев Д. М., Лебедев А. Б., Шукин Г. Г., Ильин Г.Н. Перспективы применения методов наземной микроволновой радиометрии для синоптического анализа атмосферных фронтов и прогноза опасных явлений погоды // Метеорология и гидрология. 2022. № 12. С. 56-65.