

## **Использование наземной радиотеплолокации для исследования структуры атмосферных фронтов и прогноза опасных явлений погоды**

Д.М. Карavaев<sup>1</sup>, А.Б. Лебедев<sup>2</sup>, Г.Г. Щукин<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 198199, г. Санкт-Петербург, Ждановская улица, 13.  
E-mail: dm.karavaev@mail.ru

<sup>2</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.  
E-mail: lebandbor@rambler

<sup>3</sup> Муромский институт (филиал) ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23  
E-mail: ggshchukin@mail.ru

*Представлены результаты исследований характеристик влагосодержания атмосферы при прохождении атмосферных фронтов циклонов с применением данных наземных радиотеплолокаторов в области спектра 22,23 ГГц. Рассмотрена методика исследований мезоструктуры атмосферных фронтов, обсуждаются некоторые результаты комплексных экспериментов, проведенных в Ленинградской области.*

*Ключевые слова: радиотеплолокация, влагозапас атмосферы, водозапас облаков, атмосферный фронт.*

## **Using ground-based microwave radiometry to study the structure of atmospheric fronts and the prevention of dangerous weather phenomena**

D.M. Karavaev<sup>1</sup>, A.B. Lebedev<sup>2</sup>, G.G. Shchukin<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Mozhaisky Military Aerospace Academy.

<sup>2</sup> Russian State Hydrometeorological University.

<sup>3</sup> Murom Institute of Vladimir State University.

*The results of investigations the characteristics of atmospheric moisture content during passage of atmospheric fronts using ground-based microwave radiometers at frequencies near 22.23 GHz are presented. The method of studying the mesoscale structure of atmospheric fronts and some results of experiments conducted in the Leningrad region is presented.*

*Keywords: microwave radiometer, water vapor, cloud liquid water, atmospheric front.*

### **Введение**

Современные дистанционные средства метеорологических наблюдений (наземные радиолокаторы, радиотеплолокаторы, спутниковые приборы) дают возможность исследовать мезомасштабную структуру атмосферных фронтов и имеют перспективы применения для совершенствования технологии предупреждения опасных явлений погоды, методов сверхкраткосрочного прогнозирования на основе комплексного усвоения данных разнородной метеорологической информации [1-3]. Распространение получают наземные радиотеплолокаторы влажностного зондирования облачной атмосферы, которые позволяют проследивать изменение раздельно и одновременно общего содержания парообразной и жидкокапельной влаги в тропосфере [4] в реальном времени с высоким пространственно-временным разрешением.

Представляет интерес комплексный анализ результатов стандартных метеорологических наблюдений и наземных радиотеплолокационных измерений параметров атмосферы с привлечением данных спутниковых наблюдений с целью исследования особенностей мезомасштабной структуры атмосферных фронтов циклонов и оценки новых возможностей для проведения оперативного анализа синоптической обстановки и совершенствования методов раннего предупреждения развития опасных явлений погоды [5].

### **Методика проведения эксперимента**

Рассматриваемые случаи представляют циклоны и связаны с последовательным прохождением теплого и холодного фронтов или фронта окклюзии через пункты наблюдения. В соответствии с разработанной методикой исследований эксперимент включал два этапа исследования атмосферных фронтов (АФ): а) этап Э1 синоптического (фронтологического) анализа; б) этап Э2 мезомасштабного анализа (мезоанализа) структуры АФ.

На этапе Э1 идентифицировался факт прохождения АФ через пункты наблюдений, определялся тип АФ (теплый или холодный фронт, фронт окклюзии), устанавливалось время прохождения фронта через пункты наблюдений. Фронтологический анализ выполнялся по методике, изложенной в руководящих документах [6,7]. Синоптический анализ включает также анализ спутниковых изображений облачности в видимом и ИК-диапазонах спектра, полученных с помощью станций приема спутниковой информации «Сюжет-МБ» или с общедоступных метеорологических сервисов.

Период времени прохождения АФ определялся по характерным признакам прохождения конкретного АФ путем анализа данных кольцевых карт погоды и уточнялся с учетом данных дневников погоды близлежащих гидрометеорологических станций (Центр погоды в Санкт-Петербурге, п. Сосново, п. Воейково). При анализе за начало прохождения теплого фронта условно принимался срок наблюдений, который регистрировал десятибалльную облачность верхнего или среднего (при отсутствии облаков верхнего) яруса; за окончание прохождения теплого фронта – некоторый момент времени между сроками наблюдений, между которыми прекращалось выпадение обложных осадков и (или) происходил правый поворот ветра. За начало прохождения холодного фронта условно принимался момент времени между сроками, между которыми наблюдался правый поворот ветра, а за завершение его прохождения – срок, за который наблюдалось количество облачности менее 10 баллов среднего или верхнего яруса. Очевидно, за начало прохождения фронта окклюзии принимался характерный признак начала прохождения теплого фронта, за окончание его прохождения – характерный признак завершения прохождения холодного фронта. Поскольку каждый АФ является уникальным, в каждом конкретном случае вопрос о начале и завершении прохождения АФ принимался индивидуально. Кроме того, для уточнения положения и вертикальной структуры фронта использовались данные комплексного температурно-ветрового зондирования.

На этапе Э2 проводились исследования мезомасштабной структуры АФ, которые включали: анализ временного хода влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков, полученных по данным измерений радиотеплолокационной аппаратуры РВП (частоты каналов около 20.7 и 32 ГГц) в Ленинградской области [8]; сопоставление полученных радиотеплолокационных измерений РВП с хронологией прохождения АФ по данным метеорологических измерений и спутниковых наблюдений; выявление мезомасштабных особенностей АФ. При этом рассматривались случаи, когда фронт проходил пункты наблюдений по траектории близкой к нормали относительно линии самого фронта, а случаи, при которых атмосферные фронты находились в

параллельных потоках и протягивались линией фронта вдоль измерительных станций из рассмотрения исключались.

### Результаты эксперимента

В качестве примера применения разработанной методики рассмотрим случай прохождения АФ циклона в Ленинградской области в период эксперимента с 09 по 14 сентября 2020 г. Комплексный синоптический анализ, выполненный на основе аэросиноптического материала, свидетельствует о прохождении в период с 00 ч до 19 ч СГВ 12 сентября 2020 г. через ст. Санкт-Петербург теплого фронта и в период с 01 ч до 04 ч СГВ 13 сентября 2020 г. холодного фронта. За момент начала прохождения теплого фронта был принят срок 00 ч СГВ, в последующие часы на ст. Санкт-Петербург наблюдался рост приземной температуры. Наличие облаков верхнего яруса по данным наблюдений не отмечалось, возможно они были замаскированы 8-балльной слоисто-кучевой облачностью. Согласно данным радиозондирования на ст. Воейково за 00 ч СГВ и их интерпретации по методике [6,7], в верхней тропосфере наблюдались условия, благоприятные для наличия облаков верхнего яруса. Момент завершения прохождения теплого фронта приходится на период между 18 и 21 ч СГВ, когда произошло резкое увеличение высоты нижней границы облачности. С помощью данных наземных наблюдений более точно определить момент прохождения теплого фронта не представляется возможным, так как прохождение фронта было плохо выражено в поле ветра и давления на всех трех станциях, а рост температуры сменился падением при выпадении дождя.

Временной ход влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков приводится по данным радиотеплолокационных измерений РВП приводится на рис.1. Видно, что прохождение теплого фронта 12 сентября проявляется в росте влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков. Из физических соображений следует ожидать, что для отражения мезомасштабных полос осадков также информативным является исследование временной изменчивости радиоярких температур на частоте 32 ГГц и 20.7 ГГц. Положение атмосферных фронтов отражено на картах синоптического анализа (11 сентября 00 ч - рис.2а, 13 сентября 06 ч - рис.2б).

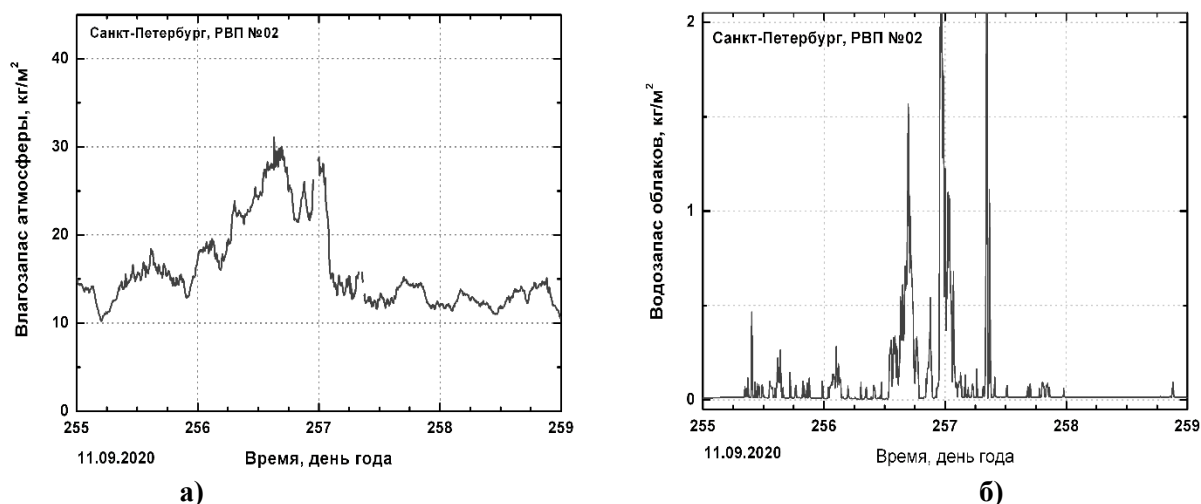


Рис. 1. Радиотеплолокационные данные в период с 11 по 14 сентября 2020г: а) – влагозапас атмосферы, б) – водозапас облаков

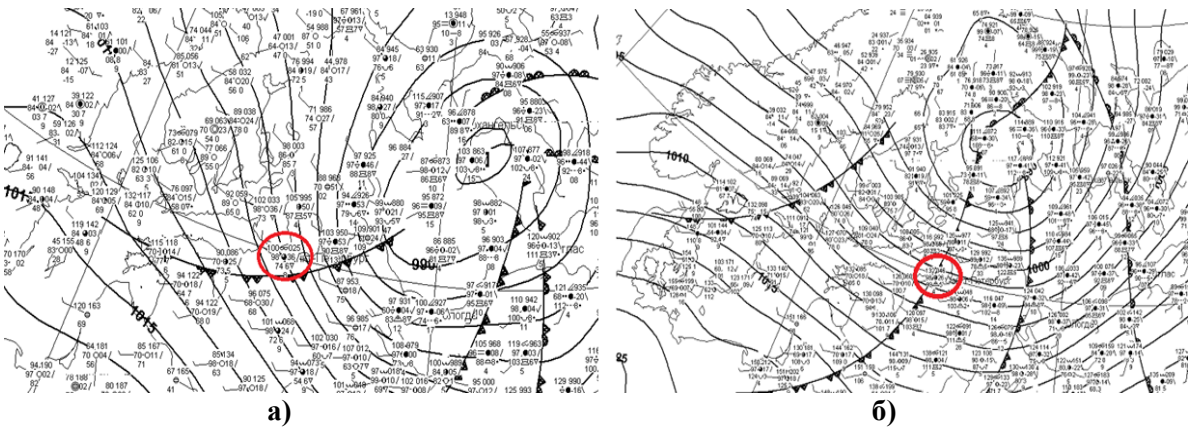


Рис. 2. Синоптическая карта: а) – 00 ч 11.09.2020 г., б) – 06 ч 13.09.2020 г.

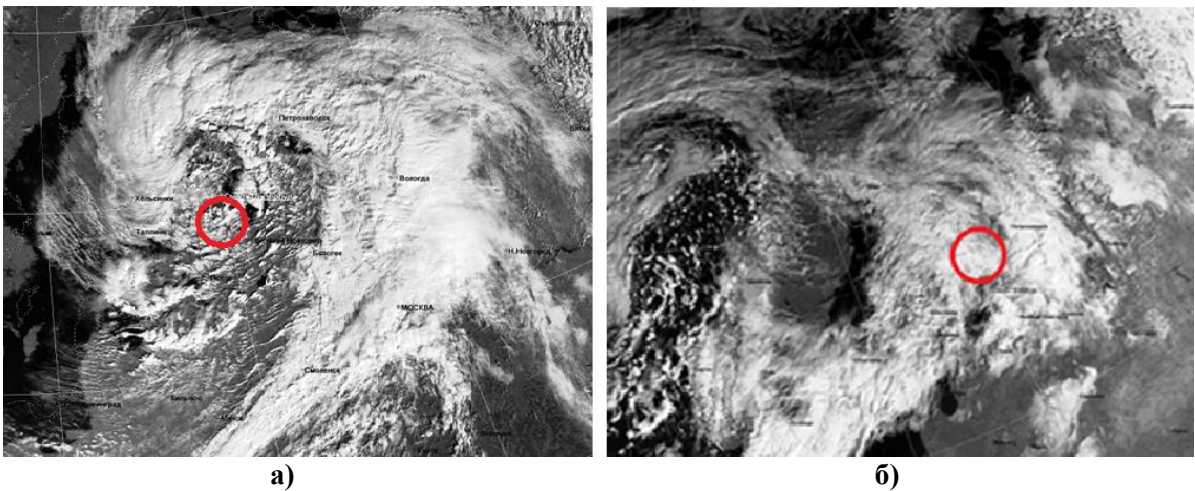


Рис. 3. Спутниковые изображения: а) – 08 ч. 10.09.2020 г., б) – 12 ч. 12.09.2020 г.

Изображение облачности циклона по данным радиометра AVHRR (канал 2 при длине волны 0,72 - 1,1 мкм) космического аппарата NOAA-18 показано на рис.3а (08 ч 10 сентября 2020 г.) и на рис. 3б (12 ч 12 сентября 2020 г.). Интерес вызывали пространственно-распределенные исследования параметров облачности фронта окклюзии вблизи центра циклона 10 сентября 2020 г.

Полученные результаты исследования временной изменчивости влагзапаса атмосферы и водозапаса облаков при прохождении атмосферных фронтов относятся к теплому периоду, причем в рассматриваемый период АФ проходили через Ленинградскую область вблизи точки окклюзии, поэтому, рассмотренные теплые сектора циклонов имели ограниченные размеры.

### Выводы

Разработана методика исследований мезоструктуры атмосферных фронтов и представлены результаты комплексных исследований характеристик влагосодержания атмосферы при прохождении атмосферных фронтов циклонов в Ленинградской области с применением данных наземных радиотеплолокаторов. Проведенные эксперименты продемонстрировали возможности уточнения диагностики мезомасштабной структуры атмосферных фронтов на основе применения средств наземной радиотеплолокации. Перспективны дальнейшие исследования применения наземной радиотеплолокации для сверхкраткосрочного прогнозирования опасных явлений погоды, диагностики теплых фронтов и фронтов окклюзии.

Совершенствование методов раннего предупреждения опасных явлений погоды, связанных с облаками и осадками, связывается с комплексным применением радиофизических средств Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

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

### **Литература**

1. Вельтищев Н.Ф. Мезометеорология и краткосрочное прогнозирование: Сборник лекций. Ленинград: Гидрометеиздат. 1988. 137 с.
2. Караваев Д.М., Щукин Г.Г. Совершенствование методов раннего предупреждения развития грозových 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. Karavaev D.M., Shchukin G.G. Improving Early Warning Methods for Thunderstorm Processes through the Integrated Use of Active and Passive Radar Techniques. «Russian open scientific conference on cloud physics and weather modification (8-10 sept. 2021)» // IOP Conference Series: Journal of Earth and Environmental Science (EES), vol.1632, (2021), 012026. IOP Publishing.
4. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат. 1987. 253с.
5. Караваев Д.М., Лебедев А.Б., Моисеева Н.О., Щукин Г.Г. Исследование мезоструктуры атмосферных фронтов на основе данных спутниковых и наземных наблюдений // Материалы 19 Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». ИКИ РАН, Москва. 2021. С.167.
6. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч.1. Ленинград: Гидрометеиздат. 1986. 702 с.
7. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил. М.: Воениздат. 1992. 488 с.
8. Быков В.Ю., Ильин Г.Н., Караваев Д.М., Щукин Г.Г. Пространственно-разнесенные измерения характеристик влагосодержания атмосферы с применением радиометров водяного пара в окрестности Санкт-Петербурга // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2021. Вып. 681. С.205-209.