

Совершенствование комплексных методов раннего предупреждения опасных явлений погоды с применением сверх-высокочастотной радиометрии

Д.М. Караваев¹, А.Н. Ефременко¹, Ю.В. Кулешов¹, Г.Г. Щукин^{1,2}

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.

Рассмотрены возможности развития комплексного метода исследования и раннего предупреждения связанных с облаками и осадками опасных явлений, мощных конвективных облаков и грозовых процессов с применением данных сверх-высокочастотной радиометрии. Представлены результаты комплексных исследований влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков при различных метеорологических условиях, в том числе в период развития опасных явлений, связанных с мощной конвекцией, грозами, при прохождении атмосферных фронтов в Ленинградской области.

Ключевые слова: сверх-высокочастотная радиометрия, влагозапас атмосферы, водозапас облаков, конвективные облака, гроза, атмосферный фронт.

Improving of complex methods of early warning dangerous of weather events with using microwave radiometry

D.M. Karavaev¹, A.N. Efremenko¹, Yu.V. Kuleshov¹, G.G. Shchukin^{1,2}

¹ *Mozhaisky Military Aerospace Academy.*

² *Murom Institute of Vladimir State University.*

The possibilities of developing a comprehensive method of investigation and early warning of cloud and precipitation-related hazards, powerful convective clouds and thunderstorm with using microwave radiometry data are considered. The results of comprehensive studies of atmospheric moisture and cloud liquid water content under various meteorological conditions, as well as during the development of dangerous weather phenomena associated with powerful convection, thunderstorm, and the passage of atmospheric fronts in the Leningrad region, are presented.

Keywords: microwave radiometry, atmospheric water vapor, cloud liquid water, convective clouds, atmospheric front, thunderstorm.

Введение

Для совершенствования методов раннего предупреждения связанных с облаками опасных явлений погоды перспективно применение комплексных радиофизических методов и средств зондирования облачной атмосферы [1-4]. Комплексные исследования атмосферы актуальны в связи с потребностью более детального исследования условий развития опасных явлений с учетом взаимосвязи микрофизических, термодинамических, атмосферно-электрических характеристик, а также для совершенствования методов контроля и раннего предупреждения опасных явлений погоды, грозовых процессов, ливней, снегопадов, обледенения и др. Методы и средства сверх-высокочастотной радиометрии применяются в метеорологии для влажностного и температурного зондирования атмосферы, позволяют определять характеристики влагосодержания атмосферы, содержание жидкокапельной влаги в

переохлажденной части конвективных облаков [5,6], - что имеет значение для физики облаков, апробации моделей атмосферы и грозо-градоопасных облаков. Целью работы ставится обобщение результатов комплексных исследований характеристик влагосодержания атмосферы, в том числе, в период связанных с облаками опасных явлений погоды, с применением методов наземной сверх-высокочастотной радиометрии, для задач раннего предупреждения опасных явлений погоды.

Методы радиометрии и комплексные исследования опасных явлений

Комплексные исследования атмосферы и опасных явлений погоды с применением метеорологических радиолокаторов, сверх-высокочастотных радиометров, средств регистрации грозových разрядов и стандартных средств метеорологических измерений проводились в Ленинградской области течение многих лет. Методические вопросы проведения комплексных экспериментов, а также некоторые результаты исследований атмосферы, различных метеообразований, в том числе в период, когда наблюдалось развитие мощных конвективных облаков и грозových процессов рассматривались в [1-4]. Полученные экспериментальные данные по комплексному исследованию опасных явлений погоды в Ленинградской области позволяют сделать следующие выводы:

i. высокое влагосодержание атмосферы является необходимым, но недостаточным условием развития мощной конвекции в атмосфере. Применение наземных одиночных радиометров (частота 22.2 и 36.5 ГГц) для определения содержания парообразной влаги над пунктом зондирования перспективно для выявления благоприятных для развития мощной конвекции условий в атмосфере (в радиусе до 50 км).

ii. разработанный двухчастотный радиометрический метод позволяет определять водозапас облаков в широком диапазоне вариаций влажности, в том числе переохлажденной части конвективных облаков из результатов измерений характеристик радиотеплового излучения на частотах около 9,5 и 36,5 ГГц. Особенно эффективно использование метода при комплексировании с активной радиолокацией.

iii. экспериментальные данные указывают на возможность существования локальных зон высокого содержания переохлажденной влаги в верхней части конвективного облака на высотах 6-9 км с характерными пространственным размером 1-2 км и временем существования менее 5 мин. Отмечается несоответствие максимумов числа молниевых разрядов и влажности облака. Обнаружена поляризация собственного радиотеплового излучения от переохлажденной части мощных конвективных облаков,

iv. пространственно-временное распределение влажности мощного конвективного облака по данным радиометров не соответствует распределению его отражаемости, максимумы грозовой активности и влажности конвективной ячейки не совпадают во времени.

v. экспериментальные данные указывают на то, что зоны интенсивной электризации, по-видимому, содержат в основном ледяные облачные частицы.

vi. исследования мезомасштабных вариаций водозапаса атмосферы и водозапаса облаков показали, что в области теплых атмосферных фронтов циклонов рост водозапаса атмосферы обычно предшествовал росту водозапаса облаков. Вариации водозапаса атмосферы в окрестности грозového облака могут значительно превышать значения, характерные для невозмущенной атмосферы. Радиометрическая информация позволяет уточнить пространственно-временную мезоструктуру атмосферных фронтов.

vii. выявлены особенности взаимного расположения зон осадков различной интенсивности и молниевых разрядов в облаках Сб: из общего количества зафиксированных молний 58 % совпали с зонами осадков.

Перспективы комплексных экспериментов и методы радиометрии

Современное развитие комплексных экспериментов в Ленинградской области связывается с применением радиофизических средств Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского в п. Лехтуси [7].

В состав основных средств обсерватории входят средства радиолокации, в том числе метеорологический радиолокатор МРЛ-5 (длина волны 3.2 и 11 см), станция приема спутниковой информации, приборы напряженности электрического поля, грозопеленгаторы, автоматизированная метеорологическая станция, комплекс автоматизированного сбора и обработки данных метеорологических наблюдений. Комплексование радиофизических средств дистанционного зондирования, стандартных средств метеорологических измерений, радиозондирования атмосферы, позволяет проводить оперативный контроль параметров среды для получения физических закономерностей в процессах возникновения опасных явлений погоды. Исследования направлены на совершенствование методов контроля и раннего предупреждения опасных явлений (в том числе предгрозового состояния облаков) на основе применения различных методических подходов практического использования разнородной оперативной метеорологической информации. Одной из решаемых задач является усовершенствование комплексных радиолокационных критериев опасных явлений погоды, таких как грозы и ливни, базирующихся на результатах одновременных наблюдений средствами радиолокации, грозопеленгации, приборов напряженности электрического поля, сверх-высокочастотных радиометров.

Роль сверх-высокочастотной радиометрии в комплексных исследованиях опасных явлений погоды состоит в том, что появляются новые возможности:

i. оперативный контроль состояния атмосферы с высоким разрешением по данным радиометров влажностного (температурно-влажностного) зондирования атмосферы с целью заблаговременного выявления благоприятных условий для развития опасных явлений погоды.

ii. усовершенствованный метод раннего предупреждения мощной конвекции, грозовых процессов на основе оперативных данных наземной радиометрии: разработаны соответствующие простые радиометрические критерии опасных явлений (гроз) на основе данных о влагозапасе атмосферы и его временных вариаций.

iii. усовершенствованный метод диагностики атмосферных фронтов: применение методов наземной радиометрии позволяет уточнять мезомасштабную структуру фронтов на основе анализа вариаций характеристик влагосодержания по данным одиночных (сетевых) радиометров влажностного зондирования атмосферы.

iv. уточнение микрофизических характеристик облаков, определение водозапаса переохлажденной части мощного конвективного облака с помощью радиометров, работающих совместно с радиолокатором: выявление зон повышенного содержания жидкокапельной влаги в переохлажденной части конвективного облака может свидетельствовать об усилении процессов электризации в облаках.

v. контроль калибровки радиолокационных измерений характеристик облаков и интенсивности осадков.

vi. исследования взаимосвязи атмосферно-электрических характеристик с характеристиками облаков и осадков.

Выводы

Получены результаты экспериментальных комплексных исследований характеристик влагосодержания атмосферы с применением наземных сверх-высокочастотных радиометров при различных метеорологических условиях в Ленинградской области, в том числе при прохождении атмосферных фронтов циклонов

и развитии мощных конвективных облаков, гроз. Усовершенствован метод раннего предупреждения мощных конвективных облаков, гроз на основе комплексного применения средств радиометрии и метеорологической радиолокации, предложен радиометрический критерий развития опасных явлений погоды, связанных с облаками. Эксперименты продемонстрировали возможности уточнения диагностики мезомасштабной структуры атмосферных фронтов на основе применения данных наземных радиометров влажностного зондирования атмосферы. Таким образом, показано, что метод наземной сверх-высокочастотной радиометрии является перспективным для совершенствования методов раннего предупреждения опасных явлений погоды. Дальнейшие исследования комплексных методов контроля и раннего предупреждения опасных явлений погоды в Ленинградской области связываются применением радиофизических средств Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

Литература

1. Караваев Д.М., Щукин 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.
2. Караваев Д.М., Кулешов Ю.В., Г.Г.Щукин. Исследование сверх-высокочастотного радиометрического влажностного зондирования атмосферы для раннего предупреждения опасных явлений погоды // Радиотехника и электроника. 2023. – Т.68, №6. – С.615-620.
3. Караваев Д. М., Лебедев А. Б., Щукин 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.
4. Щукин Г.Г., Караваев Д.М. Разработка критерия развития облаков и осадков с использованием радиотеплолокационных данных и радиолокационной информации // Труды ГГО. 2008. – Вып.557. – С.119-132.
5. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. Ленинград: Гидрометеоиздат. 1987. 253 с.
6. Караваев Д.М., Щукин Г.Г. Определение содержания парообразной и жидкокапельной влаги из измерений микроволнового излучения атмосферы. // Известия вузов. Радиофизика. 2021. – Т.64. – № 12. – С.942-953.
7. Готюр И.А., Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., Караваев Д.М., Коровин Е.А., Кулешов Ю.В., С.В. Чернышев, Г.Г. Щукин. Состояние и перспективы создания Геофизической обсерватории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. – Вып.662. – С.184-187.