

Применение метода СВЧ-радиометрии в задачах регионального сверхсрочного прогноза опасных явлений погоды и наукастинга

Д.М. Караваев*, Г.Г. Щукин **

Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова,

194291, С-Петербург, Карбышева,7, ГУ «ГГО»

E-mail: dm.karavaev@mail.ru,*

*E-mail***: ggshchukin@mail.ru*

Обсуждаются некоторые результаты экспериментальных СВЧ-радиометрических исследований атмосферы в период развития опасных гидрометеорологических явлений, связанных с развитием облаков и осадков. На примере исследований, выполненных в Северо-Западном регионе, исследована возможность применения СВЧ-радиометрического критерия для оперативной оценки состояния атмосферы и прогноза развития гроз, ливней, диагностики атмосферных фронтов. Показана перспективность применения метода и средств СВЧ-радиометрии в системе регионального сверхсрочного прогноза опасных явлений погоды и наукастинга.

Some results of experimental microwaves-radiometric of researches of an atmosphere during development of the dangerous hydrometeorological phenomena connected with development of clouds and rain are discussed. On an example of the researches executed in Northwest region, the opportunity of application of the microwaves-radiometric of criterion for an operative estimation of a condition of an atmosphere and the forecast of development of thunderstorms, downpours, diagnostics of atmospheric fronts is investigated. Perspectivity of application of a method and means of the microwaves-radiometric in the system of the regional forecast of the dangerous phenomena of weather and nowcasting is shown.

Введение

Для решения задач метеорологии, связанных с мезомасштабным прогнозом целесообразно использовать оперативные методы получения информации о состоянии атмосферы, такие как методы радиолокации и СВЧ-радиометрии [1]. В настоящее время все более широко применяются региональные и локальные модели, способные воспроизводить мезомасштабные системы конвективного и орографического происхождения, с которыми бывают наиболее часто связаны опасные явления: сильные осадки, градобития, шквалистые ветры. Все более актуальным направлением становится также создание технологии слежения за текущей погодой и составление сверхкраткосрочных с заблаговременностью до 3 часов прогнозов опасных явлений на основе анализа наблюдений с высоким пространственно-временным разрешением, в первую очередь радиолокационных наблюдений и наблюдений с геостационарных спутников [2]. Одним из источников оперативных данных о параметрах атмосферы для решения такого рода задач могут использоваться наземные системы, оснащенные СВЧ-радиометрическими комплексами. Преимущества применения наземного СВЧ-радиометрического метода зондирования атмосферы в системе регионального, локального прогноза и наукастинга связаны с возможностью усвоения оперативной информации о параметрах атмосферы (профилях влажности, температуры, влагозапасе атмосферы и водозапасе облаков) в реальном времени в широком диапазоне метеоусловий.

Целью работы являлось разработка физико-статистического метода усвоения СВЧ-радиометрической информации для решения задач улучшения сверхкраткосрочного прогноза опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ), связанных с развитием облаков и осадков. Задачи: а) разработка и построение локальных систем оперативного

СВЧ-радиометрического контроля влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков для решения задач текущего прогнозирования; б) исследования естественной пространственно-временной изменчивости влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков при различных метеоусловиях, также в период развития опасных явлений; в) разработка прогностического критерия для предупреждения опасных явлений(грозы, ливней) на основе анализа СВЧ-радиометрической информации.

1 Метод СВЧ-радиометрии

Для решения обратной задачи определения метеопараметров атмосферы (профилей температуры, влажности и водозапаса облаков) в работе [5] использовался метод статистической регуляризации, который для линейного приближения, связывающего вариации радиояростной температуры - δY с вариациями метеопараметров- δX , дает решение в виде:

$$\delta X = (A^T I^{-1} A + K^{-1})^{-1} A^T I^{-1} \delta Y, \quad (1)$$

где A – линейный оператор прямой задачи; I -ковариационная матрица ошибок измерений; K -ковариационная матрица искомым параметров; ε -вектор ошибок измерений. Алгоритм восстановления профилей температуры, влажности, водности тропосферы использует априорную информацию о профилях температуры, давления, влажности, водности облаков, полученную из результатов самолетного и радиозондирования в Северо-Западном регионе. Вектор измеряемых параметров включает измерения радиояростных температур, приземные метеопараметры (температура, влажность), радиолокационные данные об отражаемости и др. метеоинформацию. Выбор оптимального набора СВЧ-радиометрических каналов для решения задач комплексного температурно-влажностного зондирования атмосферы с поверхности земли осуществлен в области спектра 18-90 ГГц (7 частотных каналов). Погрешность определения профилей температуры составляет около 0.5К в приземном слое атмосферы и увеличивается с высотой до 1.5-2 К в верхних слоях тропосферы, погрешность определения влажности от 10% в нижних слоях тропосферы до 20-30% в верхней тропосфере.

Для определения влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков использовался СВЧ-радиометрический метод, основанный на связи параметров атмосферы с характеристиками нисходящего радиотеплового излучения атмосферы. Решение задачи определения влагозапаса атмосферы (Q) и водозапаса облаков (W) имеет вид:

$$Q = a_0 + a_1 \tau(v_1) + a_2 \tau(v_2) \quad (2)$$

$$W = b_0 + b_1 \tau(v_1) + b_2 \tau(v_2) \quad (3)$$

где a_i, b_i - коэффициенты регрессии, полученные по данным радиозондирования атмосферы (профилей температуры, давления, относительной влажности), эмпирическим моделям облачности (профилей водности). Измерения характеристик радиотеплового излучения атмосферы $\tau(v)$ проводятся как минимум на двух частотах. При метеоусловиях, характерных для Северо-Западного региона России СВЧ-радиометрическое зондирование атмосферы обычно проводится на частотах вблизи центра линии поглощения водяного пара при частотах 20.5...24.5 ГГц и «окне прозрачности» атмосферы 37 ГГц,- эти частоты близки к оптимальным для решения задачи определения влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков.

2 Результаты экспериментов

В докладе обсуждаются некоторые результаты экспериментальных исследований пространственно-временной изменчивости влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков, выполненные с помощью СВЧ-радиометра 22.2ГГц (21ГГц) и 36.5ГГц. Значительная часть исследований была направлена на наблюдения за атмосферой в период развития опасных явлений, связанных с развитием мощных конвективных облаков, гроз, метелей, а также в период прохождения атмосферных фронтов.

В качестве примера на рис. 1 приводятся результаты комплексных исследований атмосферы в период наблюдения аномального грозового фронта 14 июля 2008г. в п.Воейкова, Ленинградской области.

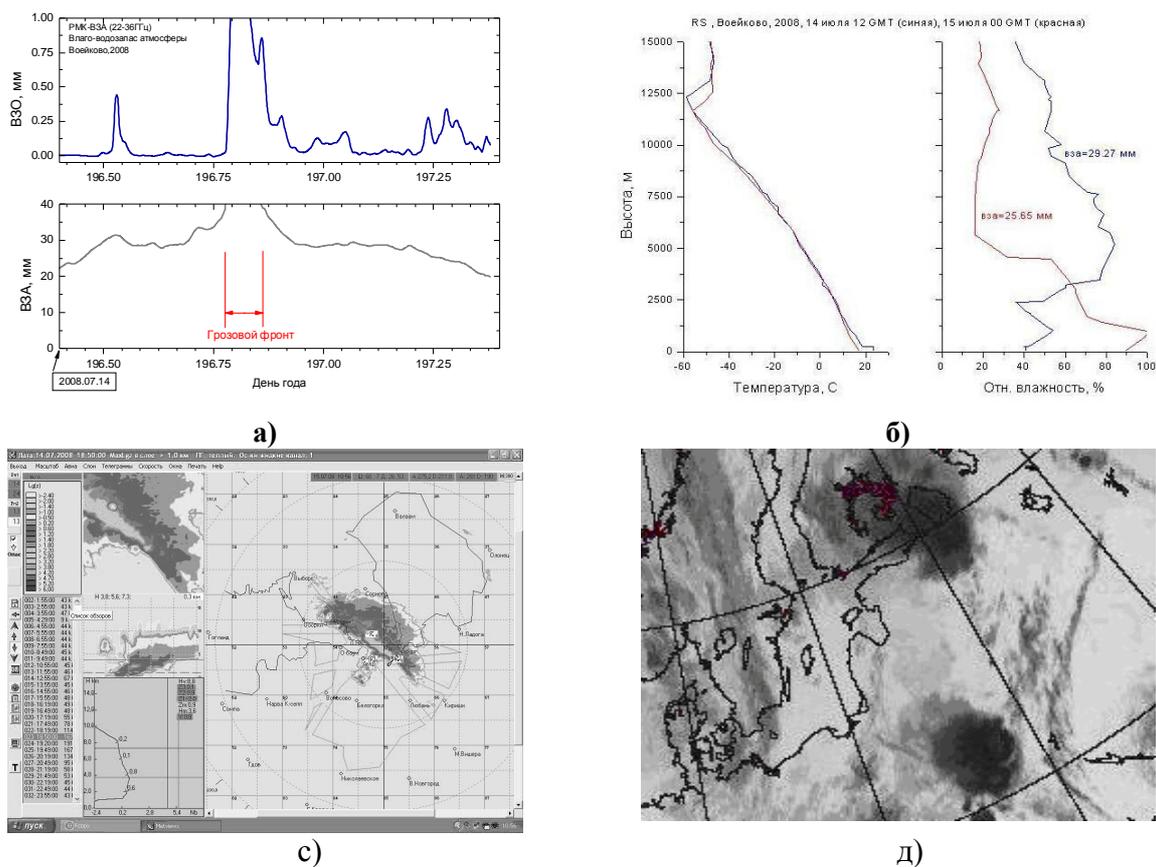


Рис. 1. Временной ход влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков в период прохождения грозового фронта 14 июля 2008г.в п.Воейково (а); профили температуры и влажности атмосферы в п. Воейково по данным радиозонда до и после грозового фронта (б); Радиолокационная отражаемость МРЛ-5 (п.Воейково) (с); ИК-изображение метеосат-9 (д)

По радиолокационным данным (МРЛ-5, п.Воейково) первые грозовые очаги зарегистрированы около 15 час (GMT) в районе Кингисеппа-Луги. Облачная система развивалась, перемещаясь в Северо-Восточном направлении. Максимальные значения верхней границы облаков составляли около 13 км. Максимальные значения логарифма радиолокационной отражаемости $\text{Log}(Z)$ более 3.2 дБ. Площадь радиолокационной отражаемости более 3 000 кв.км. Около 18 час 50 мин. фронт проходил через Воейково (рис.1с) Профили метеопараметров температуры и влажности атмосферы в 12 час. 14 июля и в 00час 15 июля показаны на рис.1б), общее влагосодержание составляло 29.27 мм в предгрозовой период в 12 час. 14 июля и 25.65 мм после прохождения фронта в 00 час 15 июля. После фронта отмечается понижение температуры в приземном слое

атмосферы на 3-7 градусов С, градиент температуры составлял -5 град/ км. СВЧ-радиометрические наблюдения позволили определять влагозапас атмосферы и водозапас облаков: в течение 14 июля отмечался рост влагозапаса атмосферы, во второй половине дня в окрестности грозового фронта влагозапас атмосферы составлял 35-40 кг/м² (рис. 1а). По данным ИК-радиометра Метеосат-9 (рис. 1д) видна обширная зона облачности над Ленинградской областью, распространяющаяся в Северо-Восточном направлении, температура наковальни конвективного облака составляла минус 52-55 градусов Цельсия.

3 Использование СВЧ-радиометрической информации в задаче прогноза гроз

Традиционно, для решения задач локального прогноза погоды используются результаты периодического радиозондирования атмосферы, которое в настоящее время проводится на сети с периодичностью 12 часов. Хорошо известны ряд индикаторов для оценки состояния атмосферы, такие как K-index (KI), Convective potential energy (CAPE), Lifting index (LI), Total Totals Index (TTI), Showalter Index (SI), и др. Некоторые из используемых таких индикаторов могут быть оперативно (с интервалом неск. минут) получаться по результатам дистанционного зондирования атмосферы, используя наземные СВЧ-радиометрические средства. В работах [3,4] предложена простая модель построения регионального прогностического критерия развития опасных гидрометеорологических явлений на основе усвоения СВЧ-радиометрических данных. В случае решения задачи качественного сверхкраткосрочного прогноза развития конвективного (грозового) облака предлагается использовать линейную регрессионную модель для прогностической функции [3], а соответствующий индекс ОЯ (VI) определяется из выражения:

$$VI = \left(e^{C_0 + \sum_{k=1}^N C_k x_k} \right) \left(1 + e^{C_0 + \sum_{k=1}^N C_k x_k} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где C_0 - свободный член; C_k - коэффициенты регрессии. Предикторы –признаки x_k , определяемые на основе СВЧ-радиометрической информации включают значения влагозапаса атмосферы и его изменения на интервале времени $T = 6$ час. При $VI > 0.5$ следует ожидать выполнение события, принадлежащего классу A_2 (гроза), в противном случае выполняются условия развития события, принадлежащего классу A_1 (нет грозы). Методика тестирования заключалась в сравнении прогноза ОЯ на основе СВЧ-радиометрической информации с данными радиолокационного зондирования атмосферы с помощью МРЛ5. При этом получали оценки верхней, нижней границы облачности, площадь радиоэхо, распознавались ливни и грозы на основе радиолокационных критериев [6,7]. Предварительное тестирование предлагаемой схемы прогноза ОЯ (гроз, ливней) проводилось в летний период 2006 года в п.Воейково (всего 43 дня, из них 15 дней с грозами и ливнями). Необходимо отметить высокий уровень ложной тревоги (около 30%), вероятность обнаружения ОЯ около 76%. Заблаговременность прогноза ОЯ при использовании СВЧ-радиометрического критерия при различных метеоусловиях в Ленинградской области может составлять от 1 до 12 часов.

4 Выводы и перспективы

Результаты работы подтверждают, что одним из важных предикторов развития опасных явлений являются характеристики влагосодержания атмосферы, которые могут быть получены в режиме реального времени с помощью наземных СВЧ-радиометров.

Для решения региональных задач оперативного прогноза в регионе С-Петербург-перспективны работы, связанные с составлением оперативных штормовых предупреждений, слежением за развитием опасных очагов (грозовых), атмосферных фронтов. Для решения задач синоптического анализа ситуаций необходима оперативная информация о влагосодержании атмосферы в регионе, - эта информация может в ряде случаев помочь более глубокому пониманию процессов, протекающих в атмосфере. Особенно актуальны наблюдения влагосодержания атмосферы с помощью сетевых СВЧ-радиометров, размещенных в направлении преимущественного переноса воздушных масс, с целью определения положения атмосферных фронтов (например: Кингисеп- Воейково).

Перспективы совершенствования системы слежения за погодой, сверхкраткосрочного прогноза облаков и осадков связаны с развитием технологий сетевого влажностного и температурно-влажностного зондирования атмосферы, а также методов усвоения оперативной радиолокационной (доплеровской), СВЧ-радиометрической и спутниковой информации в региональных схемах численного прогноза.

Литература

1. В.Д.Степаненко, Г.Г. Шукин, Л.П.Бобылев, С.Ю.Матросов. Радиотеплолокация в метеорологии.Л., Гидрометеиздат, 1987, 283с.
2. Н.Ф.Вельтищев,В.Д.Жупанов. Эксперименты по численному моделированию интенсивной конвекции, Метеорология и гидрология, №9, 2008, с.30-43.
3. Г.Г.Шукин, Д.М.Караваяев, Разработка критерия развития облаков и осадков с использованием радиотеплолокационных данных и радиолокационной информации. Труды ГГО, 2008. вып.557, с.119-132.
4. Г.Г.Шукин, Д.М.Караваяев, Применение наземного СВЧ-радиометрического метода зондирования атмосферы в задаче сверхкраткосрочного прогноза облаков и осадков. Всероссийская научная школа и конференция «Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред. 2009г., Муром, с.103-106.
5. Г.Г.Шукин, В.Д.Степаненко, С.П.Образцов, Д.М.Караваяев, В.Ю.Жуков, Ю.В.Рыбаков. Состояние и перспективы радиофизических исследований атмосферы и подстилающей поверхности. Труды ГГО, 2009, вып.560, с. 143-167.
6. С.Б.Гашина, Б.Ш.Дивинская, Е.М.Сальман, Методика использования и результаты проверки численного радиолокационного критерия грозоопасных облаков. Труды ГГО, 1968 , вып 231,с.24-29.
7. Г.Б.Брылев, А.В.Завдовьев, А.Г.Линев, Принцип использования совокупности алгоритмов при автоматизации распознавания радиоэхо гроз и осадков.Труды ГГО,1979,вып.430,с.80-85.