

II Всероссийская научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2018»

Некоторые результаты исследования мезомасштабных вариаций влаго-водозапаса атмосферы

А.Н. Ефременко, Д.М. Караваев, Г.Г. Щукин

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Ждановская, 13, dm.karavaev@mail.ru

Рассмотрены результаты исследования мезомасштабных вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков на основе анализа данных микроволновой радиометрии. Получены экспериментальные оценки временных и пространственных структурных функций влагозапаса атмосферы для различных регионов

Considered a mesoscale variation of integrated water vapor and cloud liquid water content using microwave radiometers. Experimental evaluation of temporal and spatial structural functions of atmospheric water vapor for different regions are given

Введение

Исследования закономерностей вариаций параметров атмосферы представляют интерес для физики атмосферы, радионавигации, метеорологии. В связи с развитием технологий мезомасштабного гидродинамического моделирования атмосферных процессов возникает интерес к детальным исследованиям полей влажности воздуха и водности облаков. С одной стороны, информация микроволновых радиометров может быть использована для усвоения в схемах гидродинамического прогнозирования полей метеорологических величин и опасных явлений погоды, с другой стороны, актуальны исследования по верификации мезомасштабных моделей атмосферы. Задачей данной работы ставилось экспериментальное исследование мезомасштабных вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков в различных регионах по данным микроволновых радиометров.

Методы исследования вариаций влаго- водозапаса атмосферы

Методы микроволновой радиометрии являются эффективными для исследования временных или пространственных мезомасштабных (в области от 1 км до 1000 км) вариаций влаго-водозапаса атмосферы для случаев наземного, самолетного, спутникового зондирования атмосферы, а также с помощью подвижных платформ и судов погоды.

Среди наиболее известных наземных микроволновых радиометров, удовлетворяющих современным требованиям измерения влаго-водозапаса атмосферы можно отметить: MP1500 и др. (www.radiometrics.com), HUMPRO, LWP и др. (<https://www.radiometer-physics.de>), радиометры водяного пара ИПА РАН (<http://iaaras.ru>), СКБ ИРЭ РАН (<http://sdbireras.ru>). По результатам измерений характеристик радиотеплового нисходящего излучения - радиоярких температур на различных частотах вблизи центра линии поглощения водяного пара 22.235 ГГц определяются отдельно влагозапас атмосферы и водозапас облаков [1], при этом погрешность определения влагозапаса атмосферы составляет около 0,5 кг/м², водозапаса облаков - около 0,02 кг/м². Современные микроволновые радиометры способны работать в режиме автоматических наблюдений при дискретности измерений от единиц секунд, что позволяет исследовать особенности турбулентных флуктуаций излучения и параметров влагосодержания атмосферы [2,3].

В настоящее время метод спутниковой микроволновой радиометрии также может быть использован для анализа пространственных распределений влаго-водозапаса

атмосферы. Известны микроволновые радиометры, которые устанавливаются на космических аппаратах гидрометеорологического и океанологического назначения, например, ATMS (на спутнике Suomi NPP), SSMIS (DMSP), AMSU-A (NOAA и MetOp), AMSR-2 (GCOM-W1), MWHTS (FY-3C), GMI (GPM), WindSat (Coriolis), МТВЗА-ГЯ («Метеор-М» №2) и др. – их характеристики приводятся на ресурсах Всемирной метеорологической организации (<https://www.wmo-sat.info/oscar/satellites>). К преимуществам использования спутникового метода следует отнести возможности получения в течение минут полей влаго-водозапаса для выделенного района. Объективные ограничения возможностей исследования в области мезо-γ связаны с относительно низким пространственным разрешением антенных систем и ограничениями чувствительности радиометров при высокой скорости измерений. Отмеченные особенности применения метода спутниковой микроволновой радиометрии с учетом различий естественной пространственно-временной эволюции параметров атмосферы, более критичным образом проявляются при исследованиях вариаций водозапаса облаков.

В работе рассматриваются некоторые результаты микроволновых радиометрических исследований мезомасштабных вариаций влаго-водозапаса атмосферы в различных регионах средних широт (над океаном и над сушей) при различных метеорологических ситуациях [4]. В экспериментах использовался наземный (судовой) двух канальный радиометр, измерения радиоярких температур на частотах 22.2 ГГц и 36.5 ГГц выполнялись при фиксированном угле места или в зените по методике временных разрезов, определение влаго-водозапаса облаков при отсутствии осадков проводилось по регрессионной методике. Эксперименты показали хорошее согласие микроволновых радиометрических измерений влагозапаса атмосферы с данными аэрологического зондирования атмосферы (СКО составляет около 1 кг/м^2). Статистические распределения влаго-водозапаса атмосферы имеют характерные сезонные особенности. Типичные гистограммы водозапаса облаков и влагозапаса атмосферы для летнего месяца Ленинградской области приводятся на рис.1.

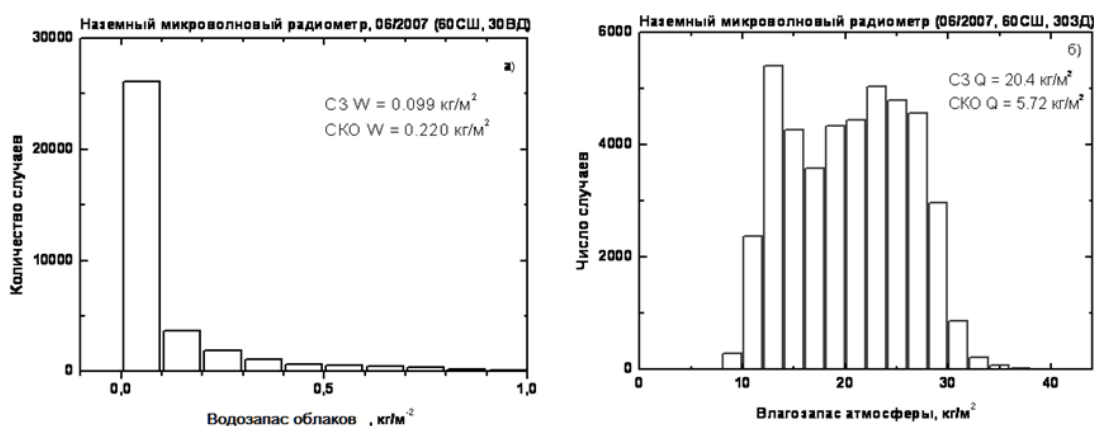


Рис.1. Гистограммы влагозапаса атмосферы (б) и водозапаса облаков (а).

В летний период водозапас облаков превышает 0.8 кг/м^2 в 5% случаев. В зимний период в Ленинградской области лишь в 1% значения водозапаса облаков превышали $0,5 \text{ кг/м}^2$. Для аппроксимации распределения водозапаса облаков может использоваться логнормальное распределение.

Данные микроволнового радиометра использовались для анализа временных структурных функций влагозапаса атмосферы:

$$D_Q(\Delta t) = \langle |\delta Q(x_0, y_0, t) - \delta Q(x_0, y_0, t + \Delta t)|^2 \rangle, \quad (1)$$

где $\delta Q(x, y, t) = Q(x, y, t) - \overline{Q(x, y, t)}$ – отклонение влагозапаса атмосферы от среднего значения;

$\overline{Q(x, y, t)}$ – среднее значение влагозапаса атмосферы;

Δt -интервал времени;

$\langle \rangle$ означает усреднение по времени.

Для аппроксимации экспериментальных временных структурных функций влагозапаса атмосферы на временных интервалах от нескольких минут до суток использовалась степенная функция вида $D_Q(\Delta t) = C_Q^2 \Delta t^\mu$ с показателем степени $\mu=0.55-0.75$. Анализ вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков при различных метеорологических условиях показывает, что интенсивности временных вариаций влагозапаса атмосферы в значительной степени зависят от метеоусловий, максимальные значения вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков наблюдались в теплых секторах циклонов, а минимальные значения - при антициклонических ситуациях. Скорость изменения влагозапаса атмосферы в области атмосферных фронтов над океаном может составлять около 0.2 кг/мин м^2 , а вариации влагозапаса атмосферы могут составлять $15-20 \text{ кг/м}^2$.

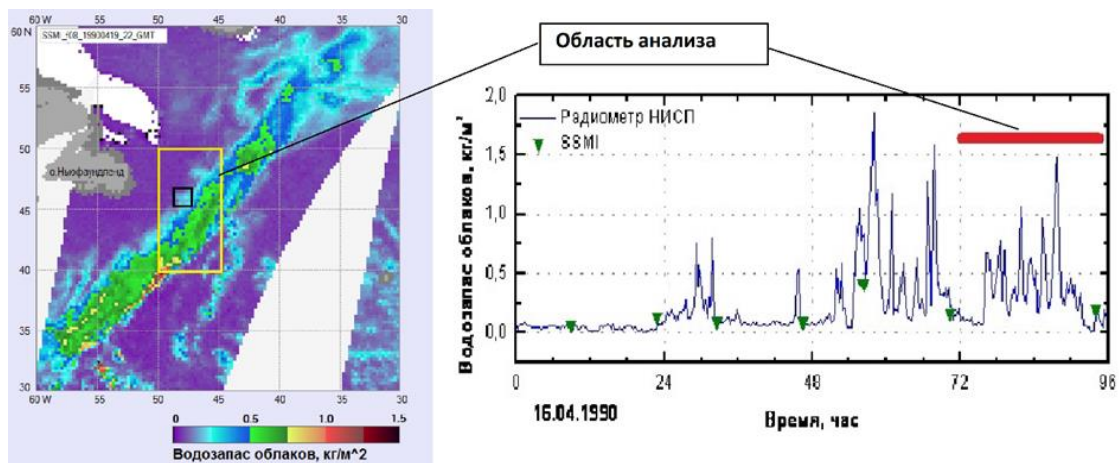


Рис 2. Пространственные и временные вариации водозапаса облаков над океаном по данным SSMI (а) и судового радиометра (б).

Для анализа пространственных вариаций влаго-водозапаса атмосферы над океаном использовались информационные продукты Центра дистанционного зондирования (www.remss.com), содержащие суточные глобальные поля параметров атмосферы на географической сетке $0,25^\circ$ [4]. Интерес вызывают синхронные сравнительные эксперименты по исследованию временных рядов водозапаса облаков с борта научно-исследовательского судна погоды совместно с анализом пространственных спутниковых карт водозапаса облаков над океаном (рис.2). Для выбранного района океана и периода наблюдений данные спутниковых и судовых измерений влаго-водозапаса атмосферы находятся в согласии.

Вариации влагозапаса атмосферы могут существенно различаться в зависимости от региона, сезона года, метеорологических условий, различаются также ортогональные составляющие поперечной пространственной структурной функции влагозапаса атмосферы. Для примера на рис.3 приводятся характерные случаи аномально низких вариаций влагозапаса атмосферы в зимний период, наблюдаемые 11 января 2014 г. и высоких вариаций влагозапаса атмосферы 8 июля 2014 г.

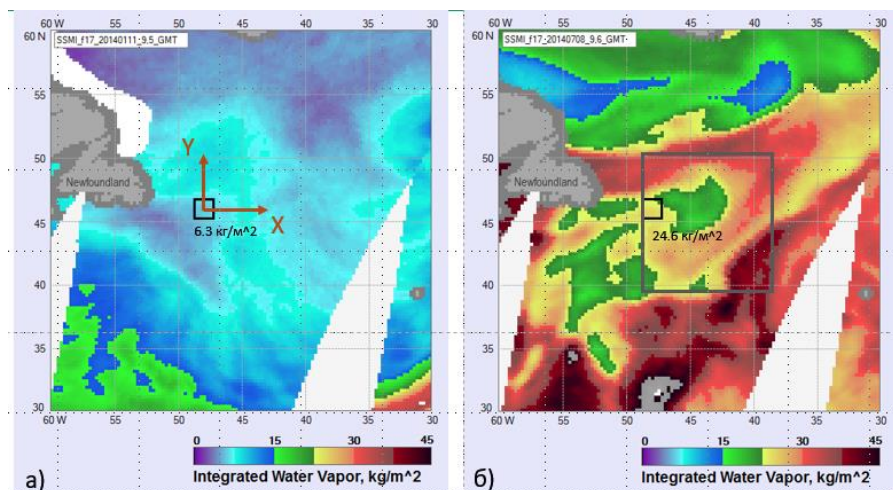


Рис 3. Влагозапас атмосферы над океаном по данным SSMIS/DMSP: (а)- 11.01.2014, (б)- 08.07.2014.

Численные оценки пространственных структурных функций влагозапаса атмосферы (для горизонтальных масштабов около 150 км) по данным SSMIS DSMP F17 для выделенного района исследований приводятся в Таблице. Для выбранного района Северной Атлантики отмечается широкий диапазон изменения интенсивности вариаций влагозапаса атмосферы для любого сезона года.

Таблица. Оценки пространственных структурных функций влагозапаса атмосферы над океаном (48°С.Ш, 46°З.Д.) при масштабах ~ 150 км по данным SSMIS DSMP в 2014 г. (минимальные значения-числитель, максимальные-знаменатель).

Характеристика	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
$D_Q(\Delta x), \text{кг}^2/\text{м}^4$	0.26 / 9.83	0.13 / 11.7	2.38 / 74.8	0.37 / 17.7
$D_Q(\Delta y), \text{кг}^2/\text{м}^4$	0.48 / 27.4	0.55 / 14.0	5.98 / 69.3	3.01 / 53.5

Заключение

Продемонстрированы перспективные возможности микроволновой радиометрии для исследования мезомасштабных вариаций влаго-водозапаса атмосферы на основе анализа данных наземных, судовых и спутниковых радиометров. Получены предварительные оценки интенсивностей мезомасштабных вариаций влаго-водозапаса атмосферы для различных регионов и метеорологических условий.

Литература

1. Степаненко В.Д., Шукин Г.Г, Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. -Л.:Гидрометеиздат.1987. 283с.
2. Кутуза Б.Г. Особенности флуктуаций микроволнового излучения атмосферы. // Успехи современной радиоэлектроники. №1. 2003. -С.36-43.
3. Кутуза Б.Г., Егоров Д.П., Казарян Р.А. Влияние водяного пара и облачности на флуктуации радиоизлучения атмосферы в частотном диапазоне 18-27 ГГц. XI Всероссийская конференция «Радиолокация и связь». Москва. 2016. -С.203-206.
4. Караваяев Д.М., Шукин Г.Г. Исследование вариаций влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков по данным микроволновых радиометров. Материалы 30 Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». – СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2017. Вып.12. Т.2. -С.204-214.