

Изучение полярного переноса в атмосфере Земли методами дистанционного зондирования

Н.М. Астафьева, М.Д. Раев, Е.А. Шарков

Институт космических исследований РАН

117997 Москва, Профсоюзная, 84/32

E-mails: ast@iki.rssi.ru; mraev@asp.iki.rssi.ru; easharkov@iki.rssi.ru

Исследуются особенности и закономерности полярного переноса, распределяющего водный и тепловой ресурс в атмосфере Земли, сглаживающего градиенты температуры между полярными и экваториальными областями и, таким образом, обеспечивающего, совместно с парниковым эффектом, благоприятный для биологической жизни климат планеты. Исследование проведено на основе информации микроволнового спутникового мониторинга Земли в рамках программы DMSP. Данные многоканальных радиометрических приборов SSM/I, установленных на космических аппаратах серии DMSP, собраны авторами в пополняемой базе GLOBAL – T. Разработанные авторами специализированные методики позволили построить глобальные радиотепловые поля (два поля в сутки), используя для дополнения данные всех космических аппаратов серии DMSP. Глобальные радиотепловые поля собраны в электронной коллекции GLOBAL – Field, <http://www.iki.rssi.ru/asp/>.

Широтная и региональная изменчивость полей радиояркостной температуры, характеризующих влаго- и водозапас атмосферы, сопоставлена с природными процессами, влияющими на транспортные и диссипативные свойства системы океан – атмосфера и на климатическую систему планеты. Проведен сравнительный анализ изображений на разных частотах, т.е. энергетический вклад водяного пара, а также мелко- и крупнокапельных облачных систем. Выполнить подобные оценки по оптическим и ИК- данным не представляется возможным в принципе, поскольку дистанционная информация в этих частотных каналах «поступает» от относительно тонкого (от десятков до сотни метров) верхнего слоя облачных систем. Построены «диаграммы полярного переноса», позволившие изучить особенности полярного переноса над разными акваториями Мирового океана и сделать заключение о важной роли тропических вихрей в формировании переноса влаги (и тепла) из экваториальных областей в высокие широты, вплоть до 70-х градусов широты.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 06-05-64276-а.

Введение

Перенос тепла и массы, влаги особенно, из низких широт в средние и высокие, **полярный перенос**, является одним из важнейших компонентов климатической системы. Полярный перенос распределяет водный и тепловой ресурс в атмосфере Земли и сглаживает градиенты температуры между полярными и экваториальными областями. Анализ особенностей и закономерностей полярного переноса позволит изучить высоко- и низкочастотные (от суток – недель до сезонов – лет) колебания системы океан – атмосфера.

Фундаментальную роль для эмпирической диагностики климата играют данные наблюдений, надежность их получения и адекватность интерпретации результатов анализа. С накоплением сведений представления о глобальной климатической системе и изменчивости климата меняются. Чтобы выявить глобальные тренды, обычно исследуется временной ход глобальных и полушарных значений геофизических (метеорологических, климатических) параметров, например, всем известные ряды Джонса (глобальных и полушарных значений температуры приземного воздуха). Однако, уже ясно, что многие из метеорологических параметров (такие, как приземная температура воздуха) характеризуются значительной региональной изменчивостью. Например, подъем температуры в течение последней четверти прошлого столетия был четко выраженным на континентах Северного полушария зимой и весной. В то же время в некоторых регионах Южного полушария и в Антарктике наблюдалось хотя и небольшое, но круглогодичное похолодание.

Чтобы установить общие закономерности эволюции процессов, влияющих на формирование климата, следует анализировать не результаты измерений тех или иных геофизических параметров в отдельных точках или сильно усредненные глобальные или полушарные параметры, а их

распределения в виде полей. Для этого необходимо иметь данные наблюдений на больших временных и пространственных масштабах, с хорошей регулярностью и плотностью покрытия. Такому возможному дадут приборы, установленные на искусственных спутниках Земли.

Исследование настоящей работы проведено на основе информации микроволнового спутникового мониторинга Земли в рамках программы DMSP. Данные многоканальных радиометрических приборов SSM/I, установленных на космических аппаратах серии DMSP, собраны авторами в пополняемой базе GLOBAL – T. Разработанные авторами специализированные методики [1], основанные на межвитковом и кросс-аппаратном выравнивании и дополнении, позволили построить глобальные радиотепловые поля (два полных глобальных поля в сутки) по данным всех космических аппаратов серии DMSP. Глобальные радиотепловые поля собраны в электронной коллекции GLOBAL – Field, <http://www.iki.rssi.ru/asp/>.

Семиканальные четырехчастотные СВЧ-радиометрические комплексы SSM/I, установленные на спутниках этой серии, принимают линейно поляризованное излучение на частотах 19,35; 22,24; 37,0 и 85,5 ГГц. Глобальные радиотепловые поля построены нами с достаточно хорошей временной регулярностью и плотностью покрытия. Они пригодны для изучения термодинамических процессов в системе океан – атмосфера с масштабами от сотен километров до планетарных и изменяющихся на короткопериодных (синоптических мезометеорологических), внутригодовых (среднемесячных, сезонных) и больших (межгодовых) временных масштабах. Анализ этих данных позволит продвинуться в понимании природы процессов энерго- и массообмена, приводящих к региональным и глобальным изменениям, а также к изменчивости климатической системы в целом.

На основе глобальных полей радиояркостной температуры из электронной коллекции GLOBAL – Field построены новые характеристики полярного переноса, «*диаграммы полярного переноса*», позволившие изучить пространственно–временные изменения переноса влаги над акваториями Мирового океана. Изучены широтные и региональные особенности полярного переноса; сделан вывод о важной роли горизонтальных атмосферных движений в переносе влаги из низких широт в высокие (что хорошо согласуется с [2]).

Широтная и региональная изменчивость полей радиояркостной температуры, характеризующих влаго- и водозапас атмосферы, сопоставлена с природными процессами, влияющими на транспортные и диссипативные свойства системы океан – атмосфера и на климатическую систему планеты. Исследуются высоко- и низкочастотные (от суток – недель до сезонов – лет) колебания системы Земля – атмосфера и закономерности и особенности полярного переноса. Проведен сравнительный анализ изображений на разных частотах, т.е. энергетический вклад водяного пара, а также мелко- и крупнокапельных облачных систем. Выполнить подобные оценки по оптическим и ИК-данным не представляется возможным в принципе, поскольку дистанционная информация в этих частотных каналах «поступает» от относительно тонкого (от десятков до сотни метров) верхнего слоя облачных систем.

Диаграммы полярного переноса для изучения региональных особенностей переноса влаги по широте

Глобальные радиотепловые поля Земли, построенные авторами на основе информации радиометрических приборов SSM/I и собранные в электронной коллекции GLOBAL-Field, предоставляют пространственно – временное распределение яркостной температуры Θ_{19} , Θ_{22} , Θ_{37} и Θ_{85} , свидетельствующее:

- о состоянии видимой поверхности (континенты, океан, наиболее плотные облачные структуры с жидкими осадками) — на частоте 19,35 ГГц;
- о распределении интегрального влагозапаса (пар воды) атмосферы — на частоте 22,24 ГГц;
- об интегральном водозапасе атмосферы — на частотах 37,0 и 85,5 ГГц.

Глобальные радиотепловые поля построены с достаточно хорошей временной регулярностью — два полных поля в сутки и плотностью покрытия — $0,5 \times 0,5^\circ$ по поверхности планеты.

Анализируя данные спутникового мониторинга авторы пришли к выводу, что вариации характеристик собственного радиоизлучения планеты формируются под влиянием интенсивных горизонтальных движений в атмосфере, осуществляющих горизонтальный перенос энергии (влаги и тепла, в первую очередь), и могут быть использованы для изучения горизонтального переноса тепла в атмосфере как первичного фактора, определяющего энергетику системы океан – атмосфера. На основе глобальных полей радиояркой температуры построены «*диаграммы полярного переноса*», позволившие изучить пространственно–временные и региональные особенности переноса влаги по широте над акваториями Мирового океана.

Диаграммы полярного переноса для каждого из полей радиояркой температуры Θ_N строятся таким образом: в диаграмме последовательно ото дня ко дню собирается информация об интегральном по долготе распределении Θ_N по широте над Мировым океаном, выбранной акваторией или выделенной областью.

В качестве примера в левой части рис. 1 представлено глобальное поле радиояркой температуры Θ_{19} . Белой рамкой на нем выделена область над акваторией Тихого океана (десять градусов по широте и от полюса до полюса), по которой будет построена диаграмма полярного переноса. Построенная диаграмма показана в правой части рис. 1; по вертикали на диаграмме отложена широта (в том же масштабе, что и на радиотепловом поле слева), а по горизонтали время в сутках. На рис. 1 диаграмма построена по данным за 2005 г.

Фрагменты диаграммы полярного переноса, выделенные на диаграмме красными рамками, показаны более подробно на следующем рис. 2. Видно, что диаграмма переноса хорошо фиксирует перемещения (горизонтальные) атмосферных структур, переносящих воду во всех ее фазовых состояниях, по широте и времени с различной скоростью и интенсивностью.

Распределение интегрального влагозапаса (пара воды) атмосферы тесно связано с яркостной температурой, измеряемой на частоте 22,24 ГГц. Глобальное поле радиояркой температуры Θ_{22} над Мировым океаном показано в левой части рис. 3. На том же рисунке представлена диаграмма полярного переноса влаги над Мировым океаном; сезонное перемещение экстремумов влагозапаса по земной поверхности и глобальное среднегодовое распределение влагозапаса по широте. Диаграмма, показанная на рисунке, демонстрирует распределение влагозапаса над Мировым океаном в плоскости время – широта в течение 2005 г. Максимумы годового распределения влагозапаса по широте на высоких широтах и их перемещения в течение года связаны с сезонным смещением границы ледового покрова.

Максимум влагозапаса расположен в северном полушарии, его положение меняется приблизительно от 2 до 7° с.ш. в зависимости от сезона года, передвигаясь вместе с внутритропической зоной конвергенции. Сезонное перемещение экстремумов влагозапаса по земной поверхности показано на рис.4; перемещение $\min \Theta_{22}$ хорошо согласуется с нисходящей ветвью меридиональной ячейки Ферреля общей циркуляции атмосферы. Ширина главного максимума Θ_{22} также меняется в зависимости от сезона, она наименьшая в зимний и весенний сезоны и наибольшая летом.

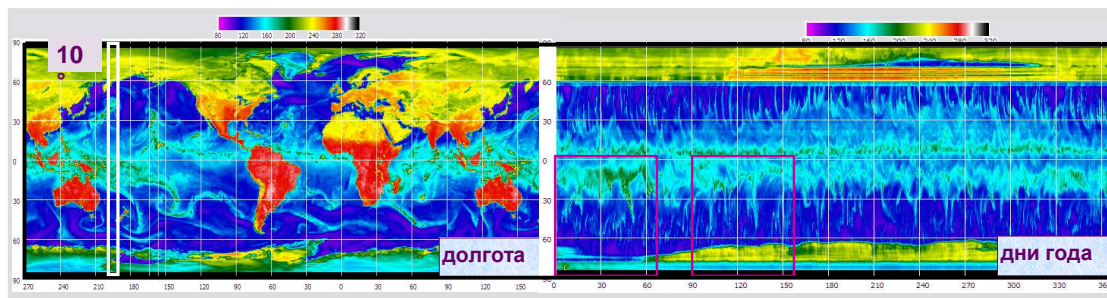


Рис. 1. Глобальное поле радиояркой температуры Θ_{19} (слева); диаграмма полярного переноса (справа), построенная по десятиградусной полосе Тихого океана, выделенной белой рамкой на поле Θ_{19}

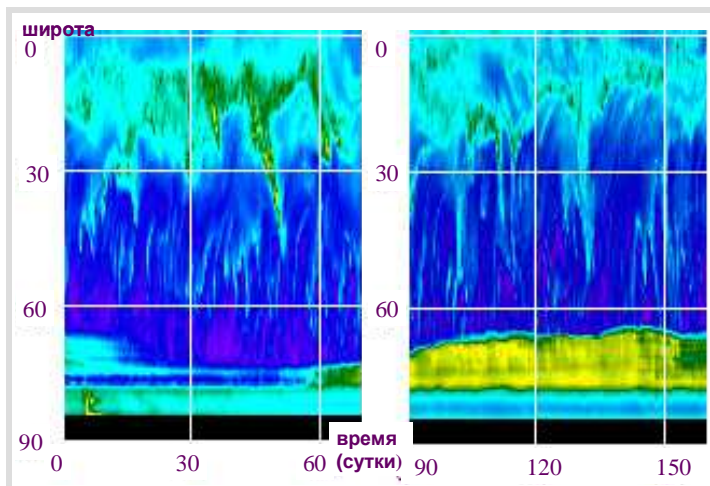


Рис. 2. Фрагменты диаграммы полярного переноса, показанной на рис. 1 справа (выделены на рис. 1 красными рамками)

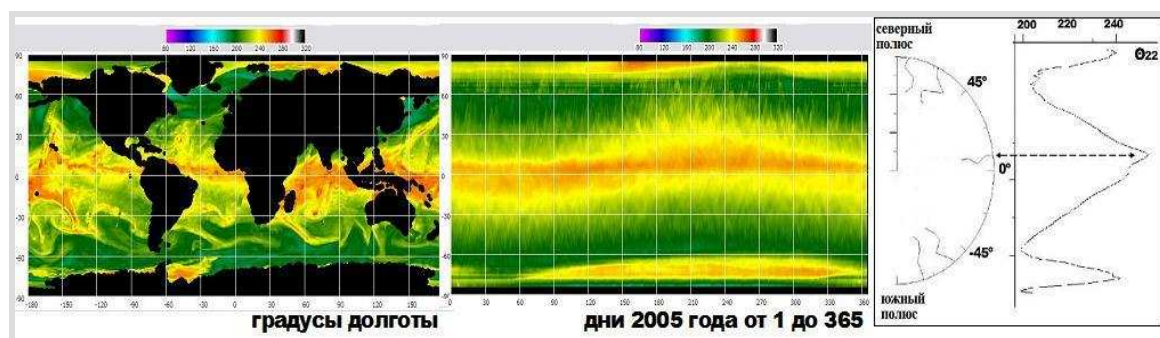


Рис. 3. Глобальное поле радиояростной температуры Θ_{22} над Мировым океаном; диаграмма полярного переноса влаги; сезонное перемещение экстремумов влагозапаса по земной поверхности; глобальное годовое распределение влагозапаса по широте (слева – направо)

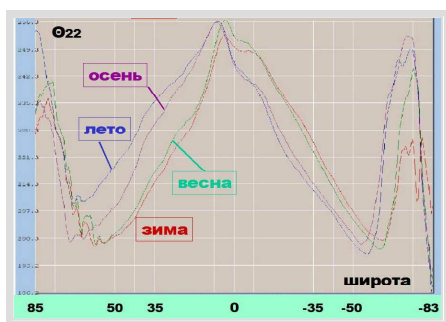


Рис. 4. Сезонные изменения интегрального по долготе распределения Θ_{22} в атмосфере над Мировым океаном

Диаграммы полярного переноса позволяют изучить особенности полярного переноса над разными акваториями Мирового океана и сделать заключение о важной роли тропических вихрей в переносе влаги (и тепла) из экваториальных областей в высокие широты, вплоть до 70-х градусов широты.

На рис. 5 и 6 показаны радиотепловые поля Θ_{22} над акваториями Атлантического и Тихого океанов и диаграммы полярного переноса над этими океанами в течение 2005 г. Сезонные изменения интегрального по долготе распределения Θ_{22} в атмосфере над Индийским океаном показано на рис. 7; здесь очень хорошо видно сезонное перемещение зоны внутритропической конвергенции.

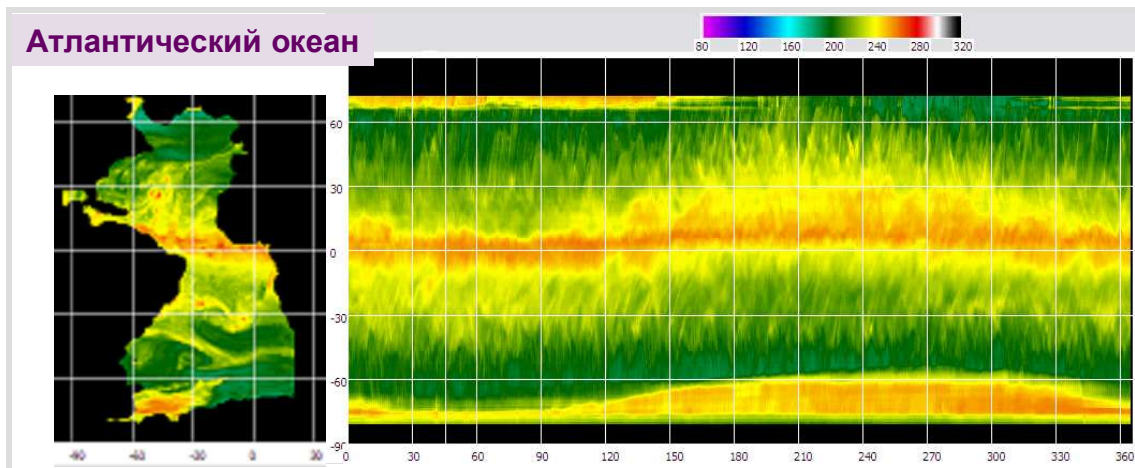


Рис. 5. Поле радиояркостной температуры Θ_{22} над Атлантическим океаном (слева); диаграмма полярного переноса влаги над Атлантикой (справа)

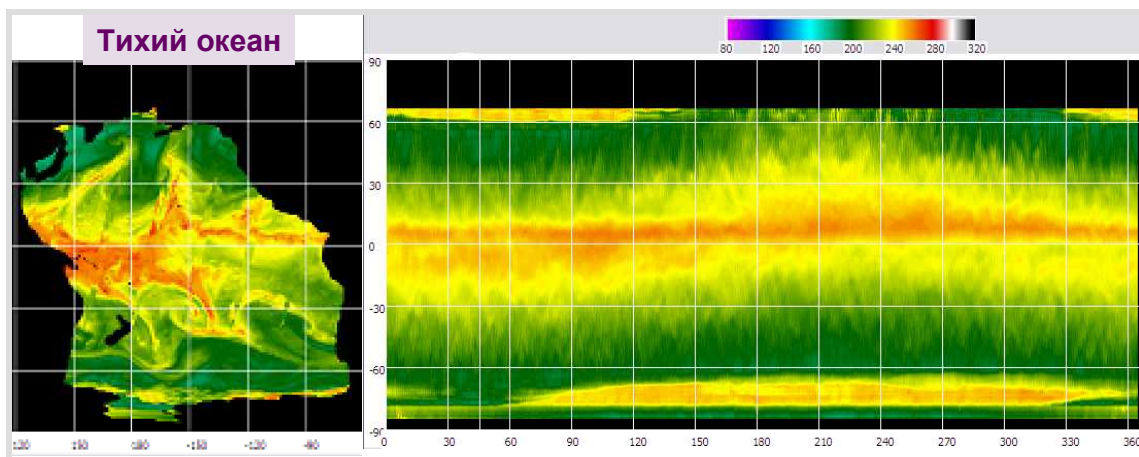


Рис. 6. Поле радиояркостной температуры Θ_{22} над Тихим океаном (слева); диаграмма полярного переноса влаги над Тихим океаном (справа)

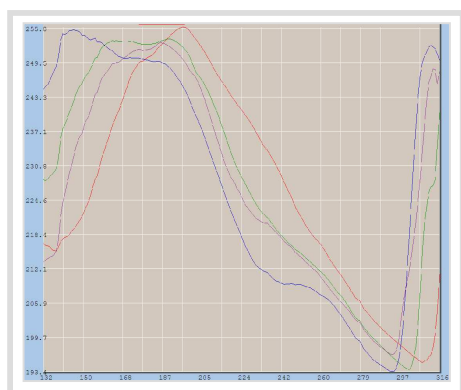


Рис. 7. Сезонные изменения интегрального по долготе распределения Θ_{22} в атмосфере над Индийским океаном

Выводы и заключение

Полярный перенос, распределяющий водный и тепловой ресурс в атмосфере Земли, изучается на основе данных спутникового микроволнового мониторинга планеты в рамках программы DMSP. Используются глобальные поля радиояркостной температуры из сформированной авторами электронной коллекции GLOBAL – Field.

Построены *диаграммы полярного переноса*, позволившие изучить особенности полярного переноса над Мировым океаном и его акваториями и сделать заключение о важной роли тропических вихрей в формировании переноса влаги (и тепла) из экваториальных областей в высокие широты, вплоть до 70-х градусов широты.

Совместный анализ диаграмм полярного переноса и динамики атмосферы по ежесуточным радиотепловым полям системы океан–атмосфера позволяет сделать вывод о том, что яркостную температуру Θ_{22} (в резонансной линии водяного пара) и энергетику атмосферы определяют интенсивные горизонтальные движения в атмосфере, вызванные тропическими циклонами, формирующимися в приэкваториальной зоне, продвигающимися в более высокие широты и осуществляющими горизонтальный перенос энергии (влаги и тепла, в первую очередь).

Отметим, что в недавних работах (*Liu W.T., Tang W. Estimating moisture transport over oceans using space-based observations // J. Geophysical Research. 2005. V. 110. D10101, doi:10.1029/2004JD005300*) были сформированы (по данным микроволновых радиотепловых и скатерометрических космических миссий) зональные и меридиональные составляющие параметра переноса водяного пара с трехмесячным временным усреднением, что полностью исключает из рассмотрения влияние на полярный перенос образований типа тропических циклонов. Полученные же авторами настоящей работы односуточные глобальные радиотепловые поля адекватно учитывают влияние быстропеременных интенсивных вихревых атмосферных образований на горизонтальный перенос тепла и массы (влаги) от экватора к полюсам.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 06-05-64276-а.

Литература

1. *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Глобальное радиотепловое поле системы океан – атмосфера по данным микроволновых космических комплексов // Исслед. Земли из космоса, 2006. № 3. С. 64–69.
2. *Гранков А.Г., Мильшин А.А.* Взаимосвязь радиоизлучения системы океан – атмосфера с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела // М.: Физматлит, 2004. 168 с.