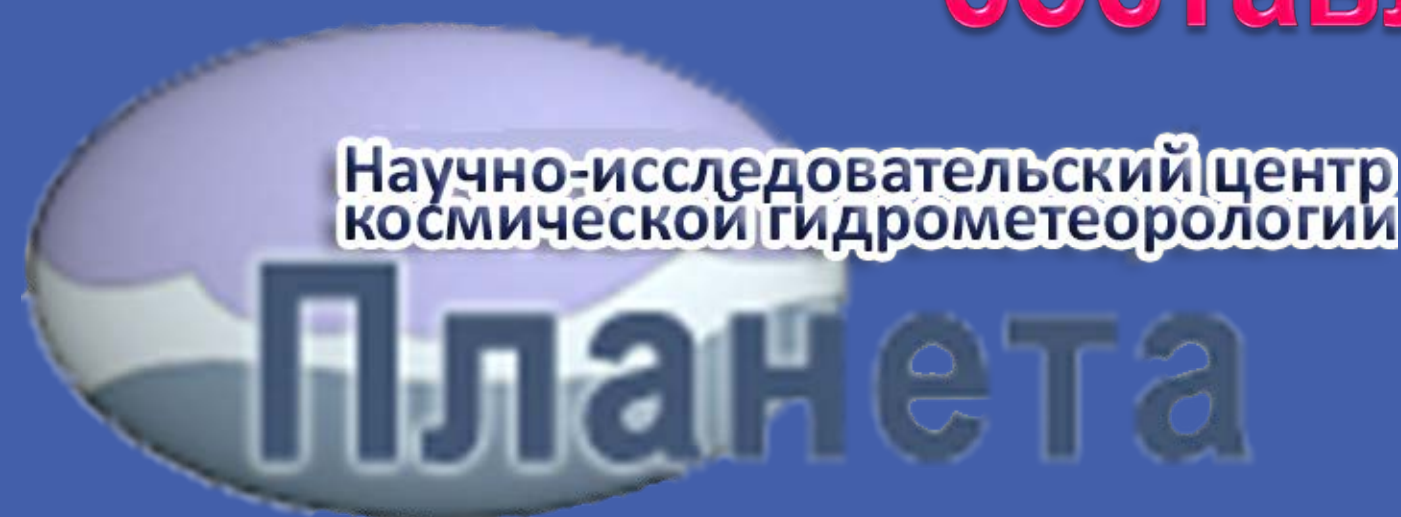


Анализ пространственно-временной эволюции составляющих радиационного баланса и облачного покрова Земли по данным длительных космических наблюдений



Головко В.А.^{1,2)}, Нестеров А.А.²⁾



- 1) Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»
2) Московский физико-технический институт (государственный университет)

Введение

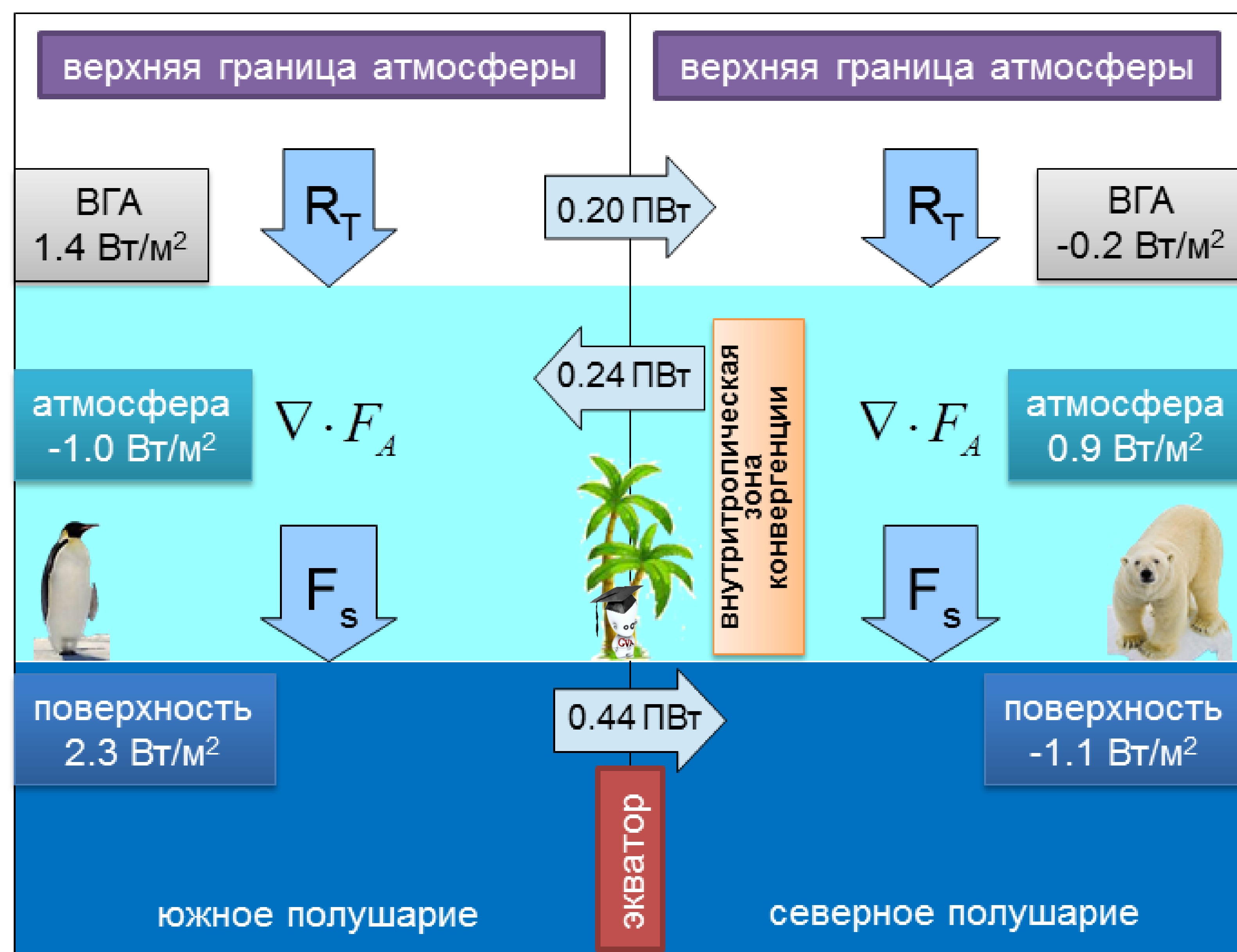
Основные факты, сопутствующие продолжающемуся глобальному потеплению, в частности, увеличение концентрации парниковых газов, рост приземной температуры, интенсивное таяние ледников и повышение уровня мирового океана, укладываются в логически понятную цепочку причинно-следственных связей. Но есть взаимосвязи, порождающие вопросы, ответы на которые не столь очевидны и требуют более детальных исследований. Например, почему темпы глобального потепления для северного полушария значительно выше, чем для южного, почему изменяется конфигурация ячеек циркуляции и динамика струйных течений в атмосфере, как и почему меняется структура облачного покрова. В связи с этим возникает и самый главный вопрос, как всё это в конечном итоге влияет на радиационный дисбаланс Земли и перспективу интенсификации глобального потепления.

Стремительно совершенствующаяся аппаратура глобальных космических наблюдений за составляющими климатической системы является источником огромных потоков ценной информации для решения поставленных задач. Анализ больших объёмов накопленных данных даёт возможность уже сейчас ответить, хотя бы частично, на некоторые из перечисленных выше вопросов. К числу таких наиболее важных информационных источников в первую очередь можно отнести данные, полученные с помощью действующих космических средств наблюдений CERES (Clouds and Earth Radiant Energy System) и CLOUDSAT. И если система CERES предоставляет уже длительное время в основном информацию об энергетических потоках на верхней границе атмосферы (ВГА), в частности, о составляющих радиационного баланса Земли (РБЗ) [1], то CLOUDSAT, благодаря мощному радару установленному на нем, позволил впервые в истории наблюдений начать вести непрерывный глобальный мониторинг характеристик облачного покрова во всей толще атмосферы Земли.

Кросс-экваториальный энергетический обмен

Среднемесячный приток энергии на поверхность F_s в заданном географическом регионе может быть оценен из вертикального интегрального уравнения баланса энергии в атмосфере на основе данных спутниковых наблюдений нисходящего радиационного потока на верхней границе атмосферы (ВГА) R_T , учитывая полное изменение энергии в атмосфере $\frac{\partial A_E}{\partial T}$ и дивергенцию ∇F_A [2]:

$$F_s = R_T - \nabla F_A - \frac{\partial A_E}{\partial T}$$



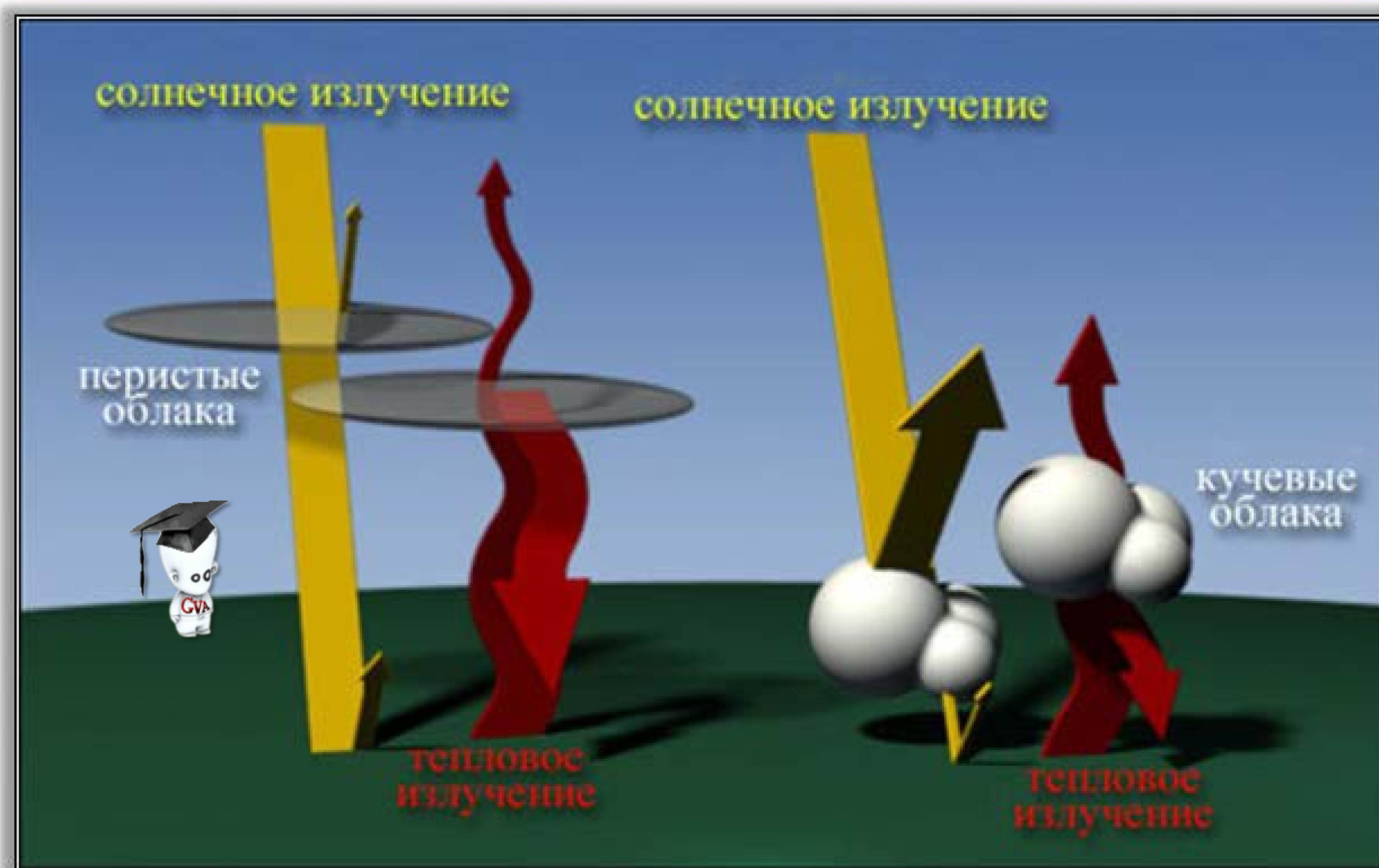
Изменение характеристик циркуляции атмосферы

Характеристики циркуляции атмосферы и облачного покрова тесно взаимосвязаны. Упрощенно атмосферная циркуляция в экваториальной области характеризуется двумя основными особенностями. Первая - это крупномасштабные структуры, называемые ячейками Хэдли, в которых воздух стремительно поднимается во внутритропической зоне конвергенции (ВЗК), перемещается на больших высотах по направлению к полюсам и снова опускается к поверхности в субтропических регионах. Вторая особенность - очень сильные потоки воздуха, известные как струйные течения, которые протекают с запада на восток в средних широтах каждого полушария.

Основу анализа длительных рядов космических наблюдений системами CERES и CLOUDSAT применительно к выявлению пространственно-временной эволюции составляющих РБЗ и облачного покрова представляют исследования процессов формирования различного типа облаков, определяемых их высотной локализацией.

Влияние различных типов облачности на климат Земли

Ключевую роль в выяснении генезиса облачного покрова играют уникальные данные CLOUDSAT. Эти данные наглядно показывают, что в узкой области ВЗК в районах мощных восходящих потоков воздуха формируются высокие вертикально-протяженные облака. В области же нисходящих потоков в субтропической зоне формируются обширные поля низких облаков, причем в южном полушарии эти поля являются более протяженными и толстыми, нежели в северном. При этом штормы, сопутствующие струйным потокам, формируют глубокие, высокие облака, простирающиеся по всей тропосфере Земли. Важно отметить, что низкие и высокие облака приводят к различным воздействиям на климат. Низкие облака в основном отражают солнечную радиацию и охлаждают поверхность. Напротив, высокие облака, как правило, оказывают эффект потепления на поверхности и в атмосфере Земли.



Независимый анализ многолетних данных CERES подтверждает выводы, полученные на основе информации CLOUDSAT. Согласно этому результату характеристики циркуляции атмосферы в ходе глобального потепления меняются: постепенно ячейки Хэдли расширяются, так что края ячеек (с нисходящими потоками воздуха) перемещаются к полюсам. Это означает, что в ходе глобального потепления тропики расширяются.

С начала эры космической климатологии (с 1970-х) системы наблюдений (ERBE, CPPB, CERES) фиксируют положительные значения радиационного дисбаланса Земли. Текущая оценка глобального дисбаланса составляет около $+0.7 \text{ Вт/м}^2$, это означает, что Земля постепенно нагревается. В течение последних десятилетий, когда факт глобального потепления стал очевиден, было детектировано и смещение характерных особенностей циркуляции атмосферы к полюсам.

Важный климатический эффект проявляется в том, что когда границы ячеек Хэдли движутся к полюсам, то одновременно в том же направлении сдвигаются и поля высокой плотной облачности. И хотя ячейки расширяются как в северном полушарии, так и в южном, результирующее влияние трансформированной облачности в них разное. В северном полушарии расширение полей высокой облачности способствует уменьшению экранирующего эффекта на солнечное излучение и тем самым обеспечивается дополнительный нагрев поверхности. В южном же полушарии влияние расширяющихся полей высоких облаков уравновешивается влиянием уже имеющихся обширных низких облачных слоев, что в конечном итоге блокирует больше солнечного света и способствует небольшому поверхностному охлаждению.

Заключение

Рассматриваемые эффекты напрямую связаны с адекватной оценкой чувствительности климата по отношению к разным возмущающим факторам. Правильное представление этих особенностей в климатических моделях имеет решающее значение для определения того, насколько глобальное потепление будет зависеть от эмиссии парниковых газов и насколько от радиационного влияния облачности (РВО). Многие климатические модели пока не учитывают текущее расширение ячеек Хэдли.

Важность проводимых исследований пространственно-временной эволюции составляющих радиационного баланса и облачного покрова Земли в период глобального потепления заключается в том, что это позволяет уточнить сложные взаимосвязи характеристик облачности и радиации и тем самым более адекватно учитывать выявляемые особенности при совершенствовании современных климатических моделей.

Литература

1. Головко В.А. Энергетические аспекты изменения климата Земли: взгляд из космоса. // Сб. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», - М.: ООО «ДоМира», 2012, т.9., №5, с.140-154.
2. Loeb N.G., et al. Observational constraints on atmospheric and oceanic cross-equatorial heat transports: revisiting the precipitation asymmetry problem in climate models // Clim Dyn. 2016. V. 46. P. 3239-3257.