

Физика природной среды

4. Циркуляция воздушных масс в атмосфере

Содержание

4.1. Ветры

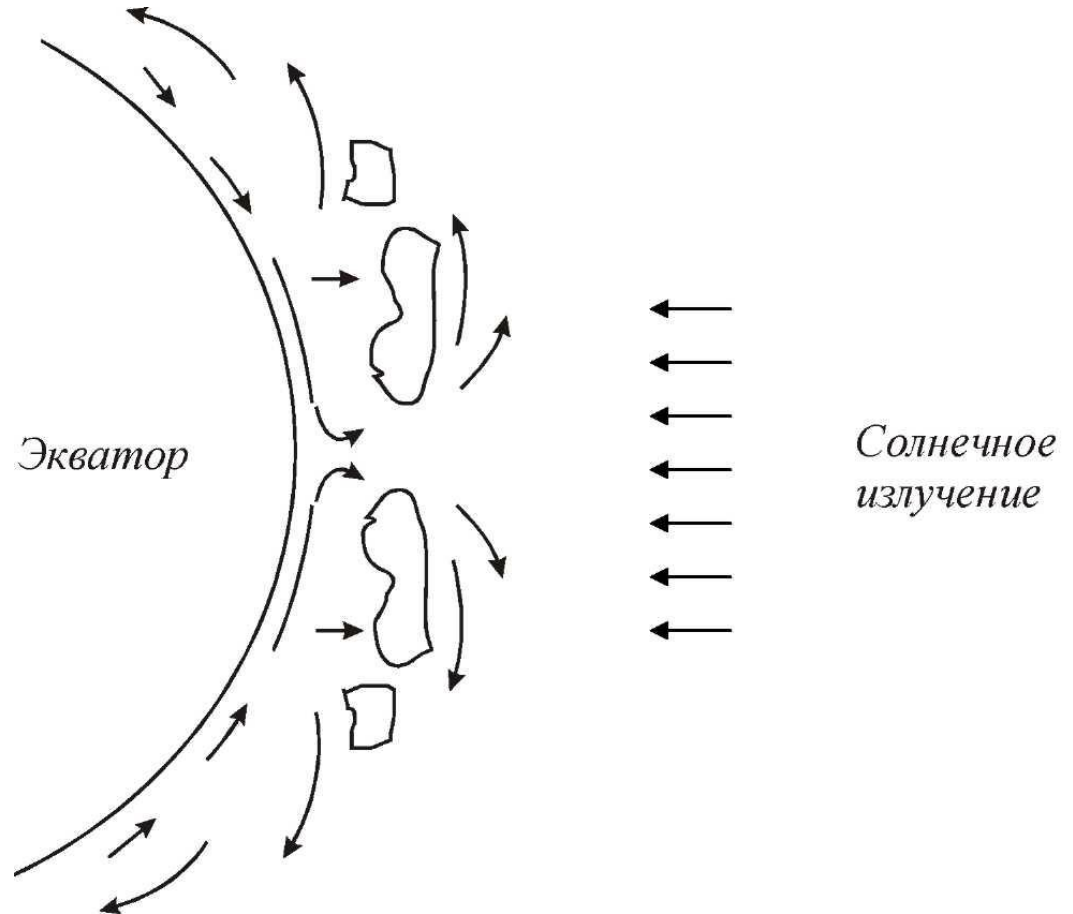
4.2. Циркумполярные вихри

4.3. Ячейки Хэдли и пассаты. Ячейка Феррела. Полярная ячейка

4.4. Циклоны и антициклоны

Ветры

- Причиной переноса воздушных масс в атмосфере является *конвекция*: теплый воздух из экваториальных областей Земли поднимается и перемещается в полярные области, охлаждаясь и опускаясь вниз.
- Из-за поднятия воздуха вблизи экватора там верхняя граница тропосферы выше — около 17 км. Это почти вдвое больше, чем у полюсов.



Тепловая машина атмосферы

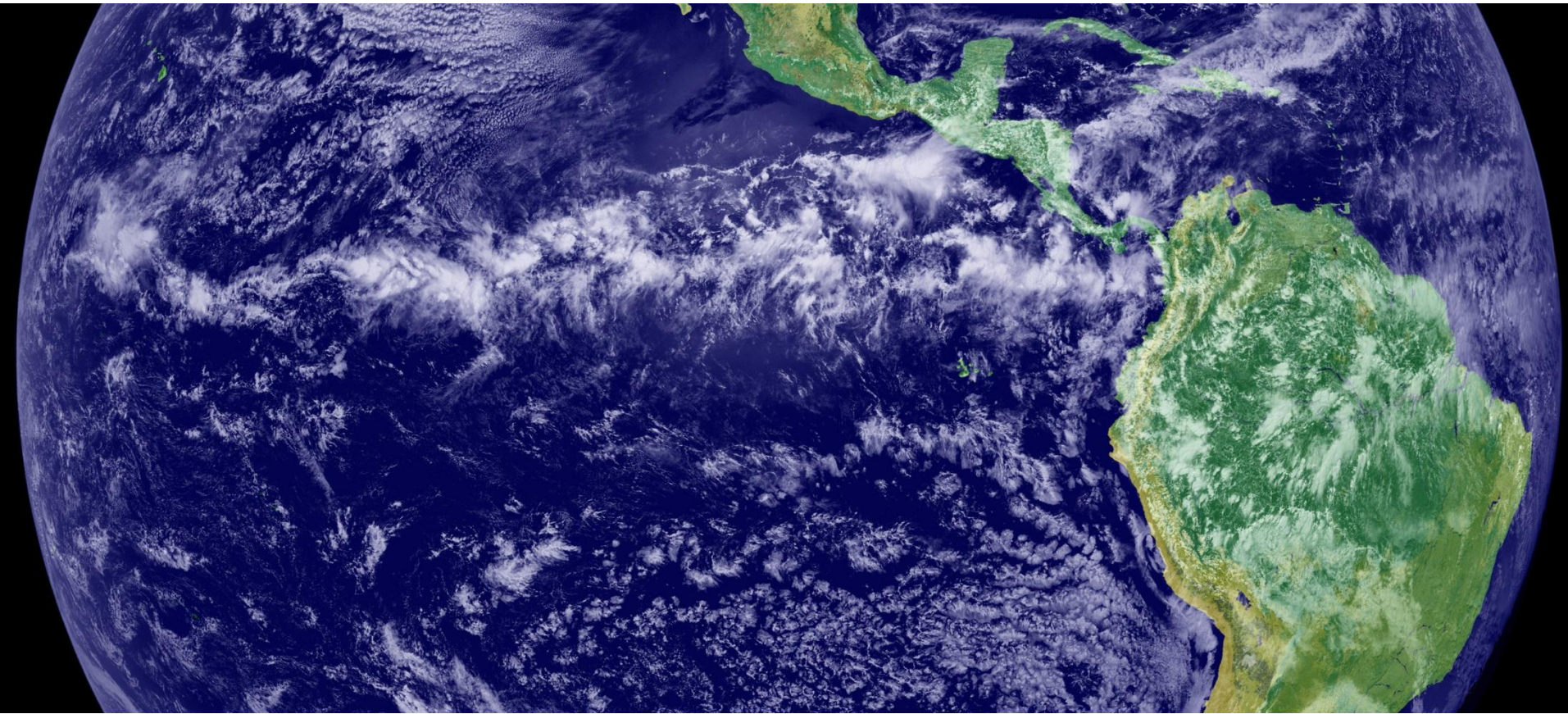
- Таким образом, система экватор – атмосфера – полюса представляет собой гигантскую тепловую машину. Ее коэффициент полезного действия невелик: всего 1-2%.
- Механическая мощность, развиваемая этой машиной $\sim 10^{15}$ Вт.
- Характерное время перемещения воздушных масс от экватора до полюса – 1 неделя

Высотное струйное течение

- Высотное струйное течение (ВСТ), струйное течение – сильный ветер в виде узкого воздушного потока в верхней тропосфере или нижней стратосфере, на тропопаузе, для которого характерны большие скорости (обычно на оси более 30 м/с).
- Размеры ВСТ по горизонтали – сотни километров в ширину и тысячи километров в длину, по вертикали – 2-4 км.
- Струи перемещаются в виде извивающихся «воздушных рек» и в основном направлены к востоку, но могут иметь меридиональное и ультраполярное направление.
- Высотные струйные течения являются звеньями общей зональной циркуляции атмосферы.
- ВСТ опасны для авиации в связи с сильной турбулентностью воздушных потоков в них, особенно в так называемых турбулентных зонах – слоях интенсивной болтанки вблизи границ ВСТ.

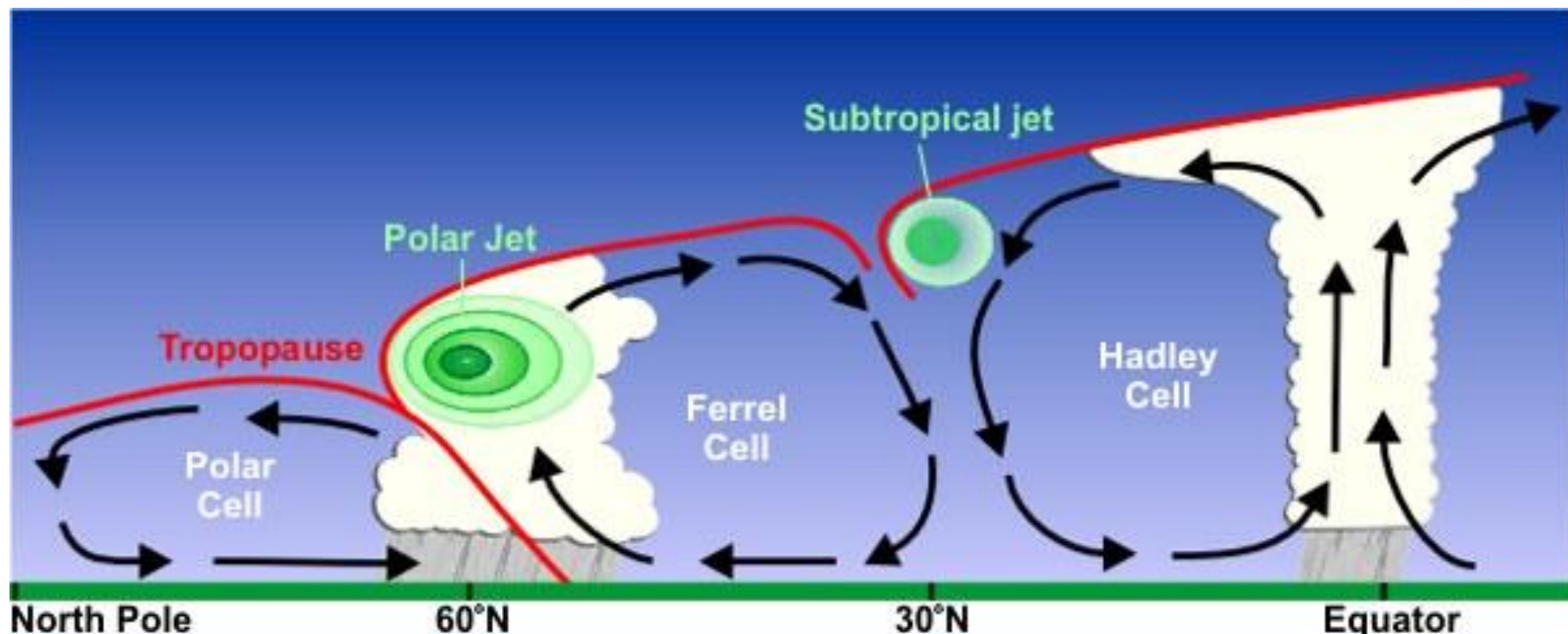
Облака над струйным течением над Канадой

Экваториальный пояс



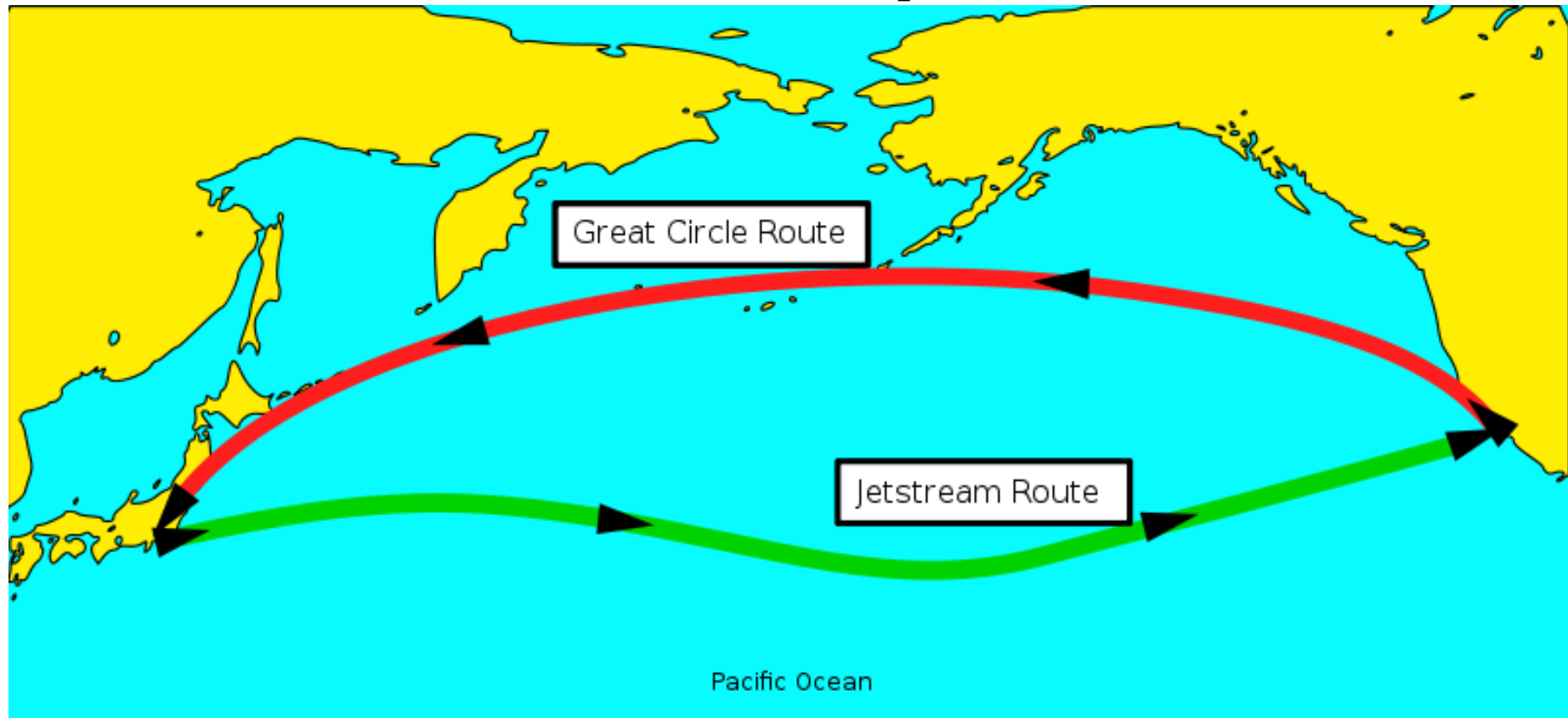
Полоса грозových облаков в экваториальном поясе над восточной Пацификой и Центральной Америкой

Высотное струйное течение в разрезе



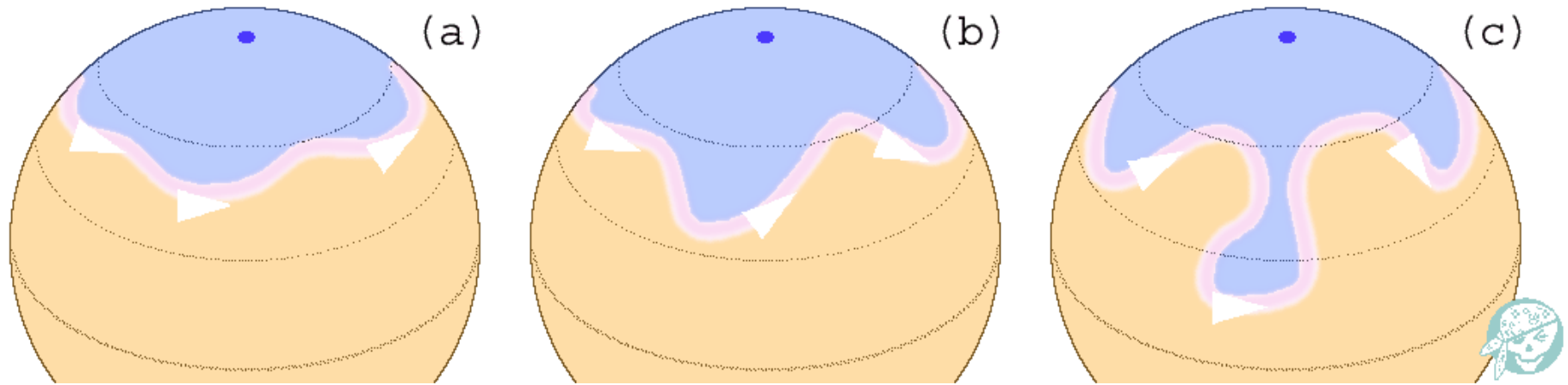
Поперечный разрез субтропического и полярного струйного течения вдоль меридиана

Высотное струйное течение и авиасообщение



Полёты самолётов между Токио и Лос-Анджелесом на восток вдоль струйного течения и на запад по большому кругу (кратчайшему пути на сфере)

Меандры струйных течений



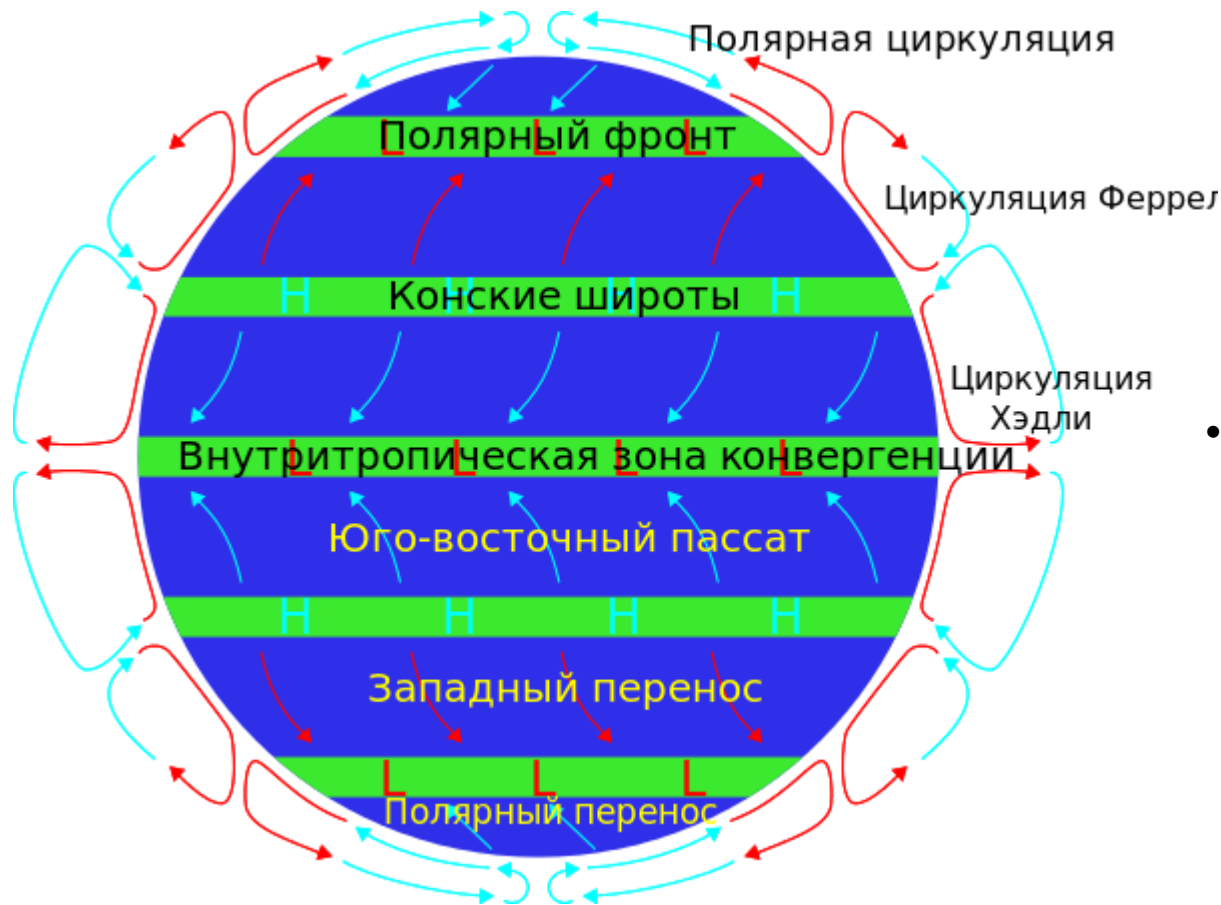
Меандры полярного струйного течения: (a) – зарождение; (b) – развитие; (c) – отшнуровка массы холодного воздуха.

Обозначения: голубой – холодный воздух; оранжевый – тёплый воздух; розовый – струйное течение

Ячейки Хэдли и Феррела

- При конвективном подъеме воздуха у экватора происходит его охлаждение. На высоте, где температура падает ниже точки росы, водяные пары, содержащиеся в воздухе, конденсируются и образуются облака. Поэтому небо над экватором почти всегда в облаках. Эти облака располагаются на высотах 1-5 км. Поднявшийся выше, до 17 км, уже сухой воздух имеет огромную внутреннюю энергию. Путь от экватора до широт циркумполярных вихрей он проходит быстро, примерно за сутки, здесь он опускается вниз и растекается по поверхности.
- Это сухой и теплый воздух, так как энергия, затраченная на подъем, теперь выделяется обратно при опускании. Поэтому широтам под циркумполярными вихрями (25-30°) соответствуют пустыни на суше и области штилей на море .
- «Конские широты» – это область повышенного давления (антициклон), а экваториальная зона – область пониженного давления – циклон. Почему же эта разность давлений не выравнивается? Все дело в том, что температура у поверхности Земли вблизи экватора и в «конских широтах» почти одинакова, но воздух у экватора более влажный и, следовательно, более легкий.

Конские широты

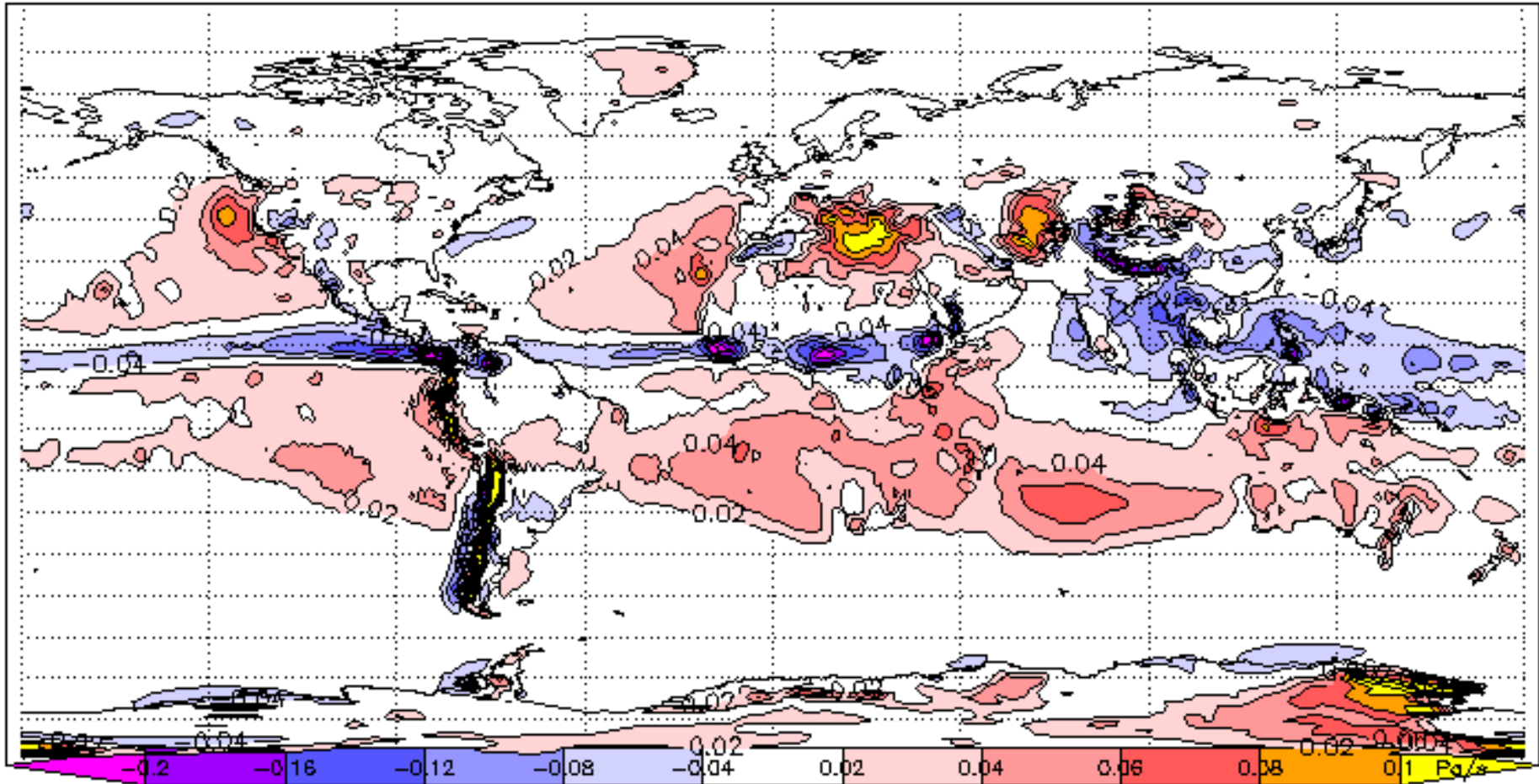


- Конские широты – районы Мирового океана между $30-35^\circ$ с. ш. и ю. ш., для которых характерны субтропические океанические антициклоны со слабыми ветрами и частыми штилями.
- В XVI–XIX веках во времена парусного мореплавания штили вызывали длительные задержки судов в пути и из-за недостатка пресной воды приходилось выбрасывать за борт лошадей, которых везли из Европы в Новый Свет

Ячейки Хэдли и Феррела

- Впервые атмосферную циркуляцию в тропиках описал в 1735 г. английский ученый Хэдли. Поэтому такие ячейки называют *ячейками Хэдли*.
- Правда, Хэдли считал, что эти ячейки простираются от экватора до самых полюсов.
- Английский школьный учитель Феррел в 1856 г. уточнил схему Хэдли, показав, что в умеренных широтах возникают ячейки вертикальной атмосферной циркуляции противоположного направления. Их называли *ячейками Феррела*.

Вертикальные скорости перемещения воздушных масс



Вертикальная скорость на 500 hPa, июльское среднее. Восходящие (отрицательные величины) концентрируются близко к солнечному экватору; нисходящие (положительные величины) более рассредоточены.

Ячейка Хадли. Механизм

- Ячейка Хадли это элемент циркуляции земной атмосферы, наблюдаемый в тропических широтах. Он характеризуется восходящим движением у экватора, направленным к полюсу потоком на высоте 10-15 км, нисходящим движением в субтропиках и потоком по направлению к экватору у поверхности. Эта циркуляция непосредственно связана с такими явлениями как пассаты, субтропические пустыни и высотные струйные течения.
- Основная движущая сила атмосферной циркуляции – это энергия солнца, которая в среднем нагревает атмосферу больше у экватора и меньше у полюсов. Атмосферная циркуляция переносит энергию по направлению к полюсам, таким образом уменьшая градиент температур между экватором и полюсами. Механизм, при помощи которого это реализуется, различается в тропических и внетропических широтах.
- Между 30° с.ш. и 30° ю.ш. этот транспорт энергии реализуется за счёт относительно простой циклической циркуляции. Воздух поднимается у экватора, переносится по направлению к полюсам у тропопаузы, опускается в субтропиках и возвращается к экватору у поверхности. В высоких широтах транспорт энергии осуществляется циклонами и антициклонами, которые перемещают относительно тёплый воздух по направлению к полюсам, а холодный по направлению к экватору в одной и той же горизонтальной плоскости. Тропическая циркуляционная ячейка называется ячейкой Хадли.

Ячейка Хадли. Пассаты

- В районе тропопазы, когда воздух перемещается по направлению к полюсам, он испытывает действие силы Кориолиса, которая поворачивает ветер направо в Северном полушарии и налево в Южном полушарии, создавая тропическое высотное струйное течение, которое направлено с запада на восток.
- Можно представить это себе как кольцо воздуха, старающееся сохранить свой угловой момент в абсолютной системе координат (не вращающейся с Землёй). Когда кольцо воздуха перемещается по направлению к полюсу, то оказывается ближе к оси вращения и должно вращаться быстрее, что создаёт струйные течения, вращающиеся быстрее чем сама Земля, которые называются струйными течениями и направлены с запада на восток по отношению к поверхности.
- Аналогично у поверхности воздух, возвращающийся к экватору, вращается на запад, или замедляется с точки зрения невращающегося наблюдателя, поскольку отдаляется от оси вращения. Эти приповерхностные ветра называются пассаты.
- Пассат (от исп. *viento de pasada* – ветер, благоприятствующий переезду, передвижению) – ветер, дующий между тропиками круглый год, в Северном полушарии с северо-восточного, в Южном – с юго-восточного направления, отделяясь друг от друга безветренной полосой. На океанах пассаты дуют с наибольшей правильностью; на материках и на прилегающих к последним морям направление их отчасти видоизменяется под влиянием местных условий.
- Благодаря своему постоянству и силе в эпоху парусного флота пассаты наряду с западными ветрами были основным фактором для построения маршрутов движения судов в сообщении между Европой и Новым Светом.

Ячейка Феррела

- Ячейка Феррела – элемент циркуляции земной атмосферы в умеренном поясе, находится примерно между 30° и 65° северной широты и 30° и 65° южной широты и ограничена субтропическим хребтом с экваториальной стороны и полярным фронтом с полярной. Ячейка Феррела считается второстепенным циркуляционным элементом и полностью зависит от ячейки Хадли и полярной ячейки.
- Фактически, ячейка Феррела действует как подшипник качения между ячейкой Хадли и полярной ячейкой, поэтому её иногда называют зоной перемешивания. Преобладающие приповерхностные ветры, что соответствуют этой ячейке, называются западными ветрами умеренного пояса. Однако локальные эффекты легко изменяют ячейку: так, Азиатский антициклон значительно сдвигает ее на юг, фактически делая разрывной.
- Тогда как ячейка Хадли и полярная ячейка замкнутые, ячейка Феррела не обязательно является таковой, в результате чего западные ветры умеренных широт не так регулярны, как пассаты или восточные ветры полярных районов, и зависят от местных условий. Хотя высотные ветры действительно западные, приповерхностные ветры часто и резко меняют свое направление.

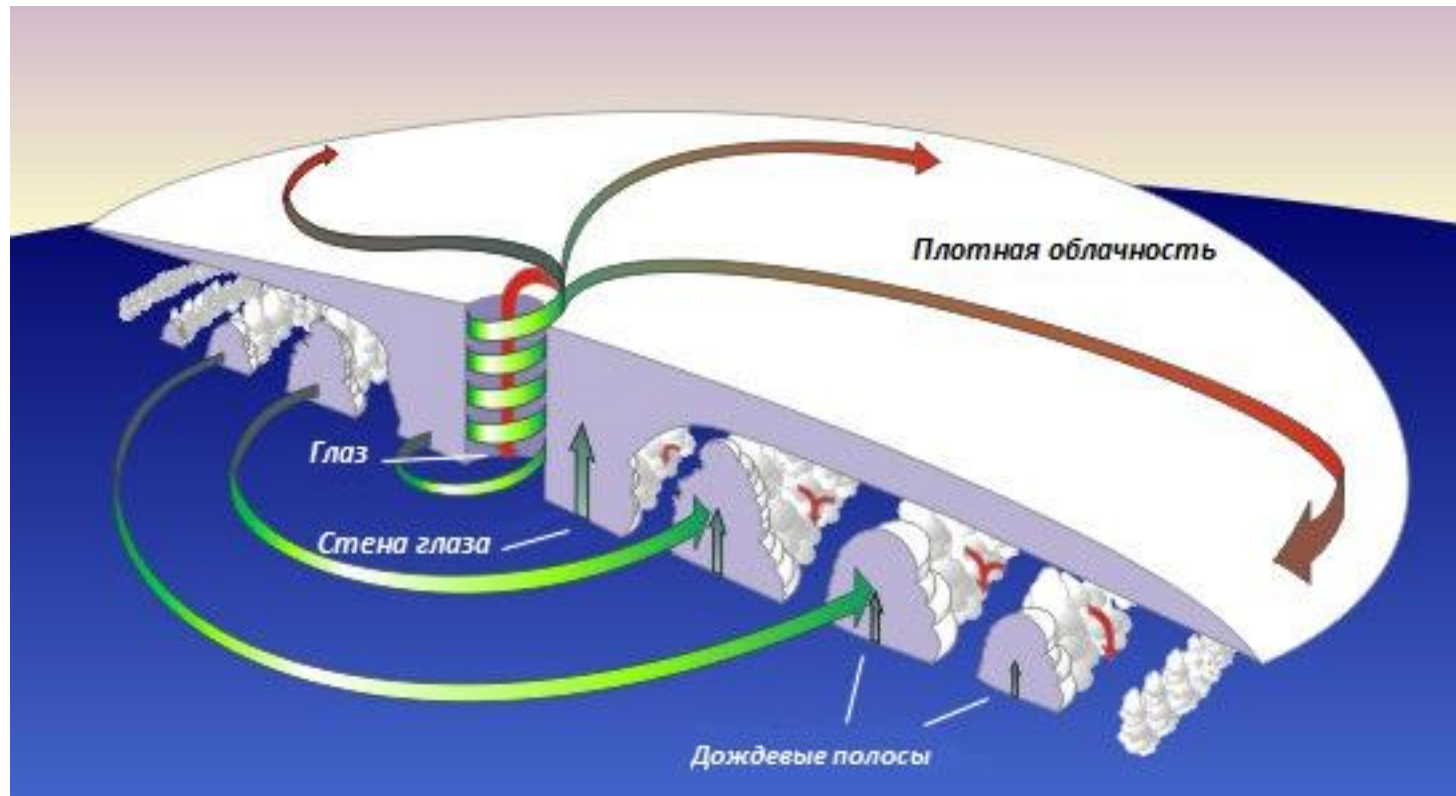
Полярная ячейка

- Полярная ячейка – элемент циркуляции земной атмосферы в приполярных районах Земли, имеет вид приповерхностного вихря, который закручивается на запад, выходя из полюсов; и высотного вихря, закручивающегося к востоку.
- Это довольно простая циркуляционная система, движущей силой которой служит разница в нагреве земной поверхности у полюсов и на умеренных широтах. Хотя в районе полярного фронта около 60° южной и северной широт воздух холоднее и суше, чем в тропиках, но он все еще достаточно теплый, чтобы образовать конвекционный поток. Циркуляция воздуха ограничена тропосферой, то есть слоем от поверхности до высоты около 8 км. Тёплый воздух поднимается на низких широтах и движется к полюсам в верхних слоях тропосферы. Достигая полюсов, воздух охлаждается и опускается, образуя зону высокого давления – полярный антициклон.
- Приповерхностный воздух движется между зоной высокого давления полярного антициклона и зоной низкого давления полярного фронта, отклоняясь на запад под действием силы Кориолиса, в результате чего у поверхности формируются восточные ветры – восточные ветры полярных районов, окружающие полюс в виде вихря.

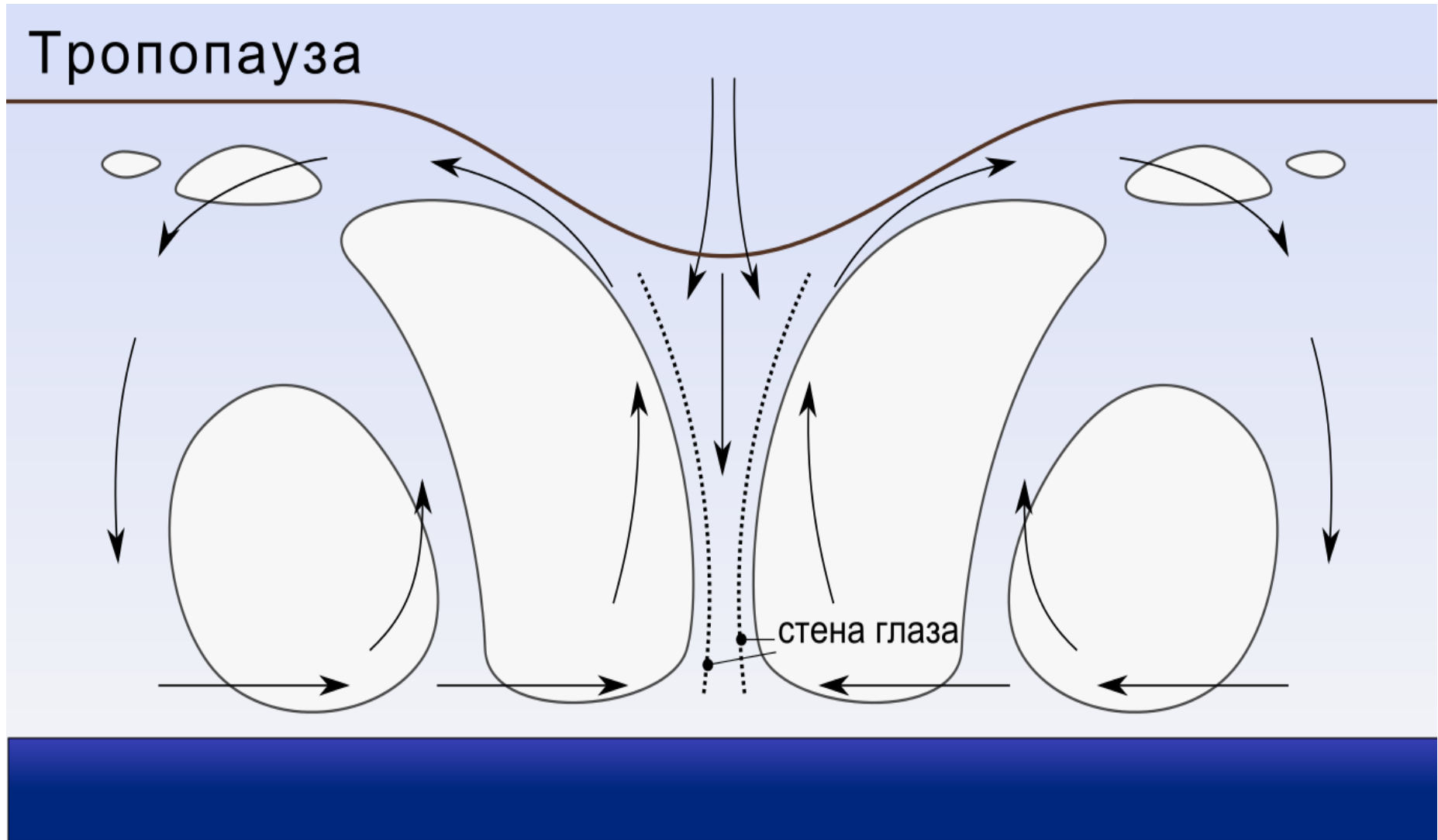
ЦИКЛОН

- Циклон (от др.-греч. κύκλῳν – «вращающийся») – атмосферный вихрь огромного (от сотен до нескольких тысяч километров) диаметра с пониженным давлением воздуха в центре.
- Воздух в циклонах циркулирует против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой стрелке в южном. Кроме того, в воздушных слоях на высоте от земной поверхности до нескольких сот метров, ветер имеет слагаемое, направленное к центру циклона, по барическому градиенту (в сторону убывания давления).
- Циклон – не просто противоположность антициклону, у них различается механизм возникновения. Циклоны постоянно и естественным образом появляются из-за вращения Земли, благодаря силе Кориолиса. Различают два вида циклонов – внетропические и тропические.
- Внетропические образуются в умеренных или полярных широтах и имеют диаметр от 1000 км в начале развития, и до нескольких тысяч.
- Среди внетропических циклонов выделяют южные циклоны, образующиеся на южной границе умеренных широт (средиземноморские, балканские, черноморские и т. д.) и смещающиеся на северо-восток. Южные циклоны обладают колоссальными запасами энергии; с ними в средней полосе России связаны наиболее сильные осадки, ветры, грозы, шквалы и другие явления погоды.
- Тропические циклоны образуются в тропических широтах и имеют меньшие размеры (100, редко – 1000 км), но большие барические градиенты и скорости ветра, достигающие до штормовых. Для таких циклонов характерен также т. н. «глаз бури» – центральная область диаметром 20-30 км с относительно ясной и безветренной погодой. Тропические циклоны могут в процессе своего развития превращаться во внетропические.

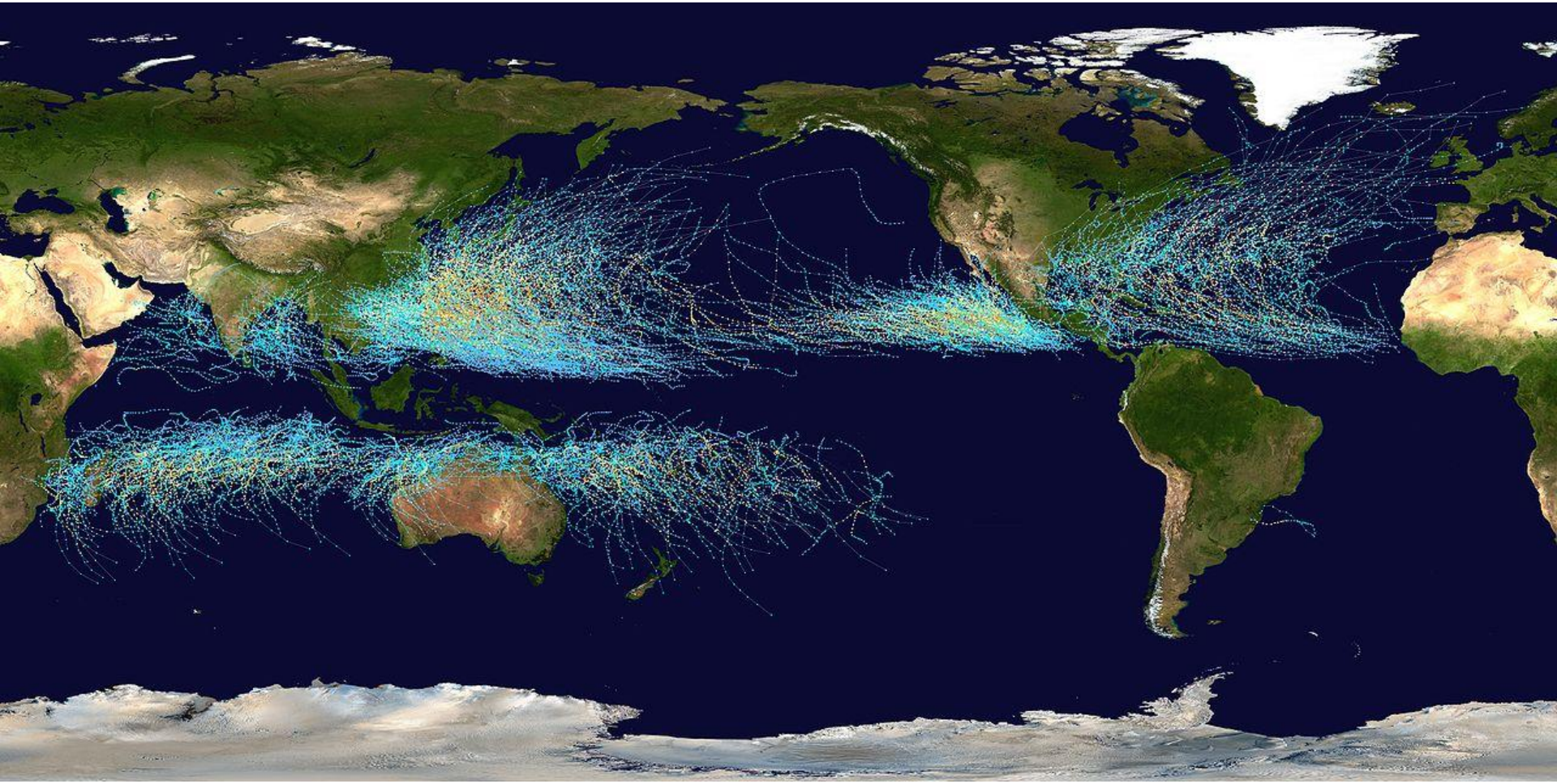
Структура тропического циклона



Направления конвекционных потоков в тропическом циклоне

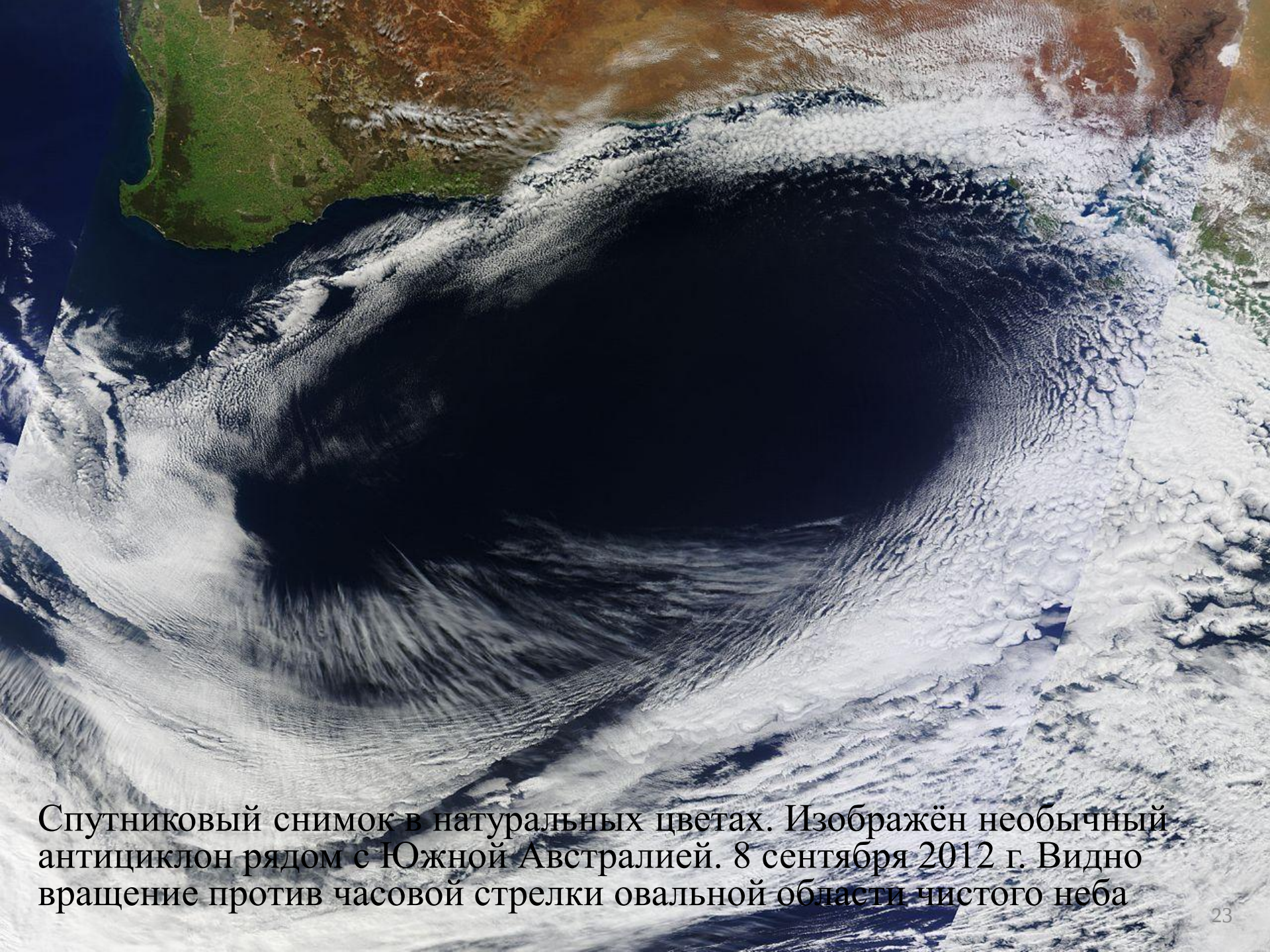


Карта пути всех тропических циклонов за период 1985—2005 годов



АНТИЦИКЛОН

- Антициклон – область повышенного атмосферного давления.
- Для антициклона характерно преобладание ясной или малооблачной погоды. Вследствие охлаждения воздуха от земной поверхности в холодное время года и ночью в антициклоне возможно образование приземных инверсий и низких слоистых облаков и туманов. Летом над сушей возможна умеренная дневная конвекция с образованием кучевых облаков. Высокие малоподвижные антициклоны, нарушающие общий западный перенос средних широт, называются блокирующими.
- Антициклоны достигают размера несколько тысяч километров в поперечнике. В центре антициклона давление обычно 1020-1030 мбар, но может достигать 1070-1080 мбар. Как и циклоны, антициклоны перемещаются в направлении общего переноса воздуха в тропосфере, то есть с запада на восток, отклоняясь при этом к низким широтам. Средняя скорость перемещения антициклона составляет около 30 км/ч в Северном полушарии и около 40 км/ч в Южном, но нередко антициклон надолго принимает малоподвижное состояние.
- В летний период антициклон приносит жаркую малооблачную погоду. В зимний период антициклон приносит сильные морозы, иногда также возможен морозный туман.
- Важной особенностью антициклонов является образование их на определённых участках. В частности, над ледовыми полями формируются антициклоны. И чем мощнее ледовый покров, тем сильнее выражен антициклон; именно поэтому антициклон над Антарктидой очень мощный, а над Гренландией маломощный, над Арктикой – средний по выраженности.
- Блокирующий антициклон – практически неподвижный мощный антициклон, который обладает способностью не пропускать другие воздушные массы на занятую собой территорию. Средний срок жизни такого антициклона — от трёх до пяти суток, лишь 1 % антициклонов дотягивает до 15 суток.
- Однако в 1972 году и 1997-2007 и 2010-2013 году антициклон в летнее время (на Европейской территории России) существовал во всех случаях практически два месяца (в 2004 и 2006 году – 2,5 месяца), вызвав катастрофическую засуху и сильнейшую жару, а также лесные пожары (как закономерное явление). Аналогичная ситуация повторилась в 2012 году в Сибири, где блокирующий антициклон просуществовал почти три месяца



Спутниковый снимок в натуральных цветах. Изображён необычный антициклон рядом с Южной Австралией. 8 сентября 2012 г. Видно вращение против часовой стрелки овальной области чистого неба

География постоянных антициклонов

