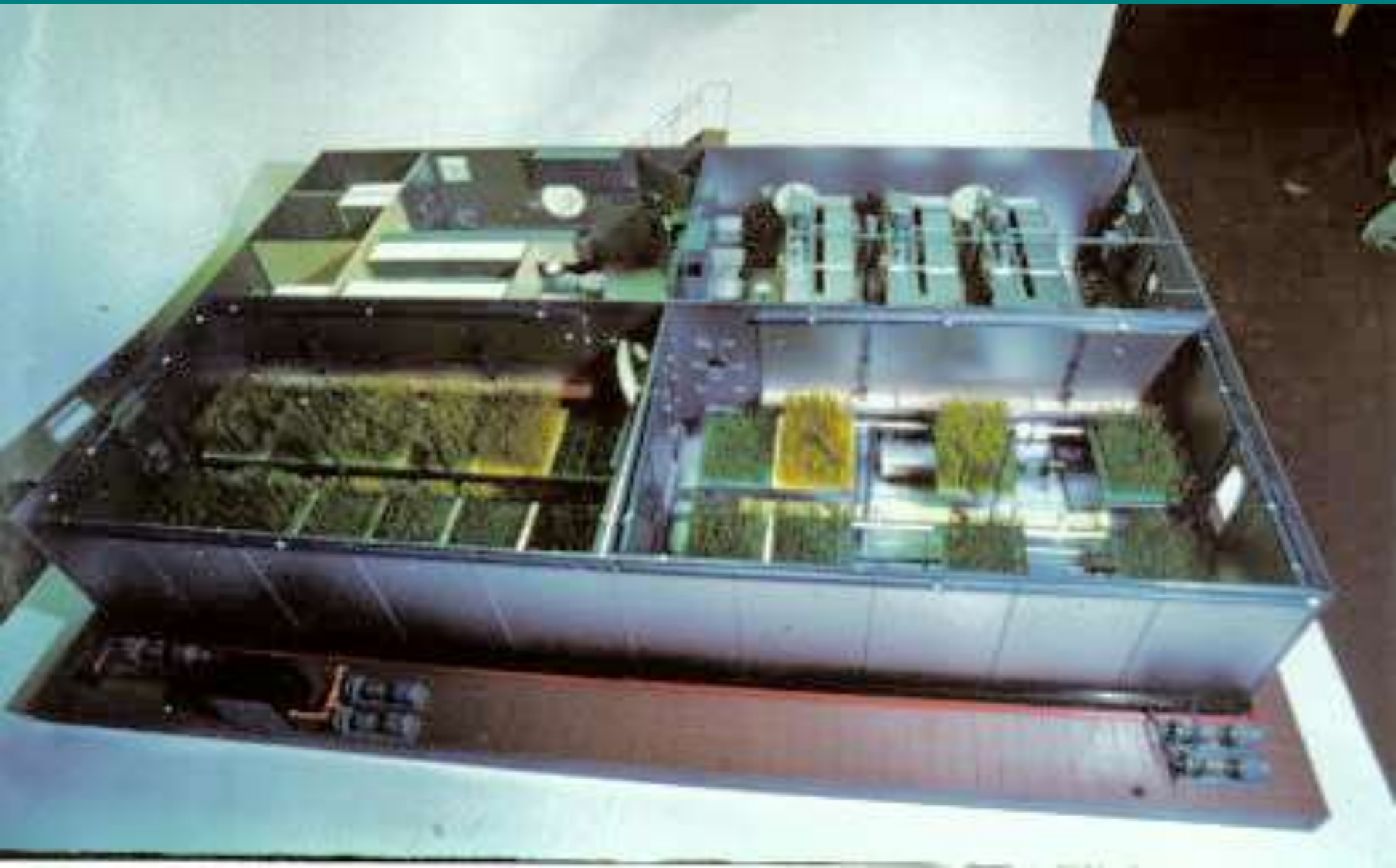


ОЗООНОВЫЙ ЩИТ ЗЕМЛИ: ЛЕГЕНДЫ И РЕАЛИИ. АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ОЗООНОВОЙ ДЫРЫ

**В.Б. Кашкин, Т.В. Рублева,
Р.Г. Хлебопрос**

Сибирский Федеральный Университет
Красноярский Научный Центр СО РАН
E-mail: rtcvbk@rambler.ru

БИОС-3



Исследование вариаций озоносферы и поиски их причин остаются актуальной проблемой. Озон играет исключительно важную роль в жизни Земли. Озоносфера не пропускает солнечное излучение короче 290 нм, при исходной величине которого органическая жизнь в ее современном виде была бы невозможной. С экологической точки зрения, наиболее важен стратосферный озон, максимум концентрации которого приходится на высоты 16-25 км (нижняя стратосфера). Если собрать весь озон в слой при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 0°C, то толщина этого слоя, т.е. общее содержание озона (ОСО), составит около 3 мм или 300 единиц Добсона (е. Д., 1 е. Д. = 10^{-3} см).

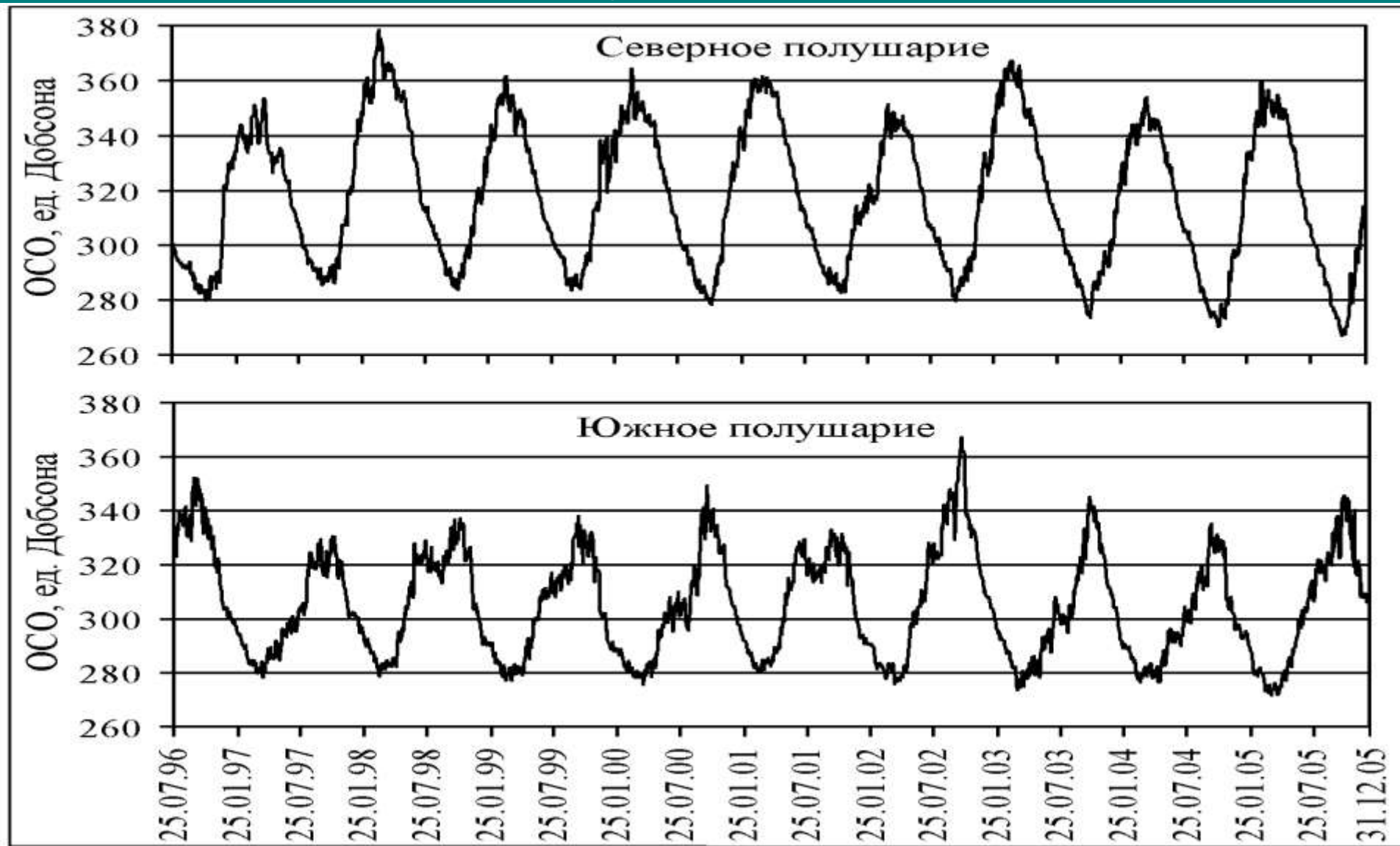
Обострение интереса к озоновой проблеме связано с тремя аспектами – это долговременное уменьшение суммарного озона, межполушарные различия в сезонном ходе полярного стратосферного озона (особенно в весенний период) и обнаружение локальных озоновых аномалий, наиболее известная – **Антарктическая озоновая аномалия (АОА)**, называемая также Антарктической озоновой дырой. Несмотря на большое количество экспериментальных и теоретических исследований, реальные причины убыли суммарного озона до сих пор не установлены.

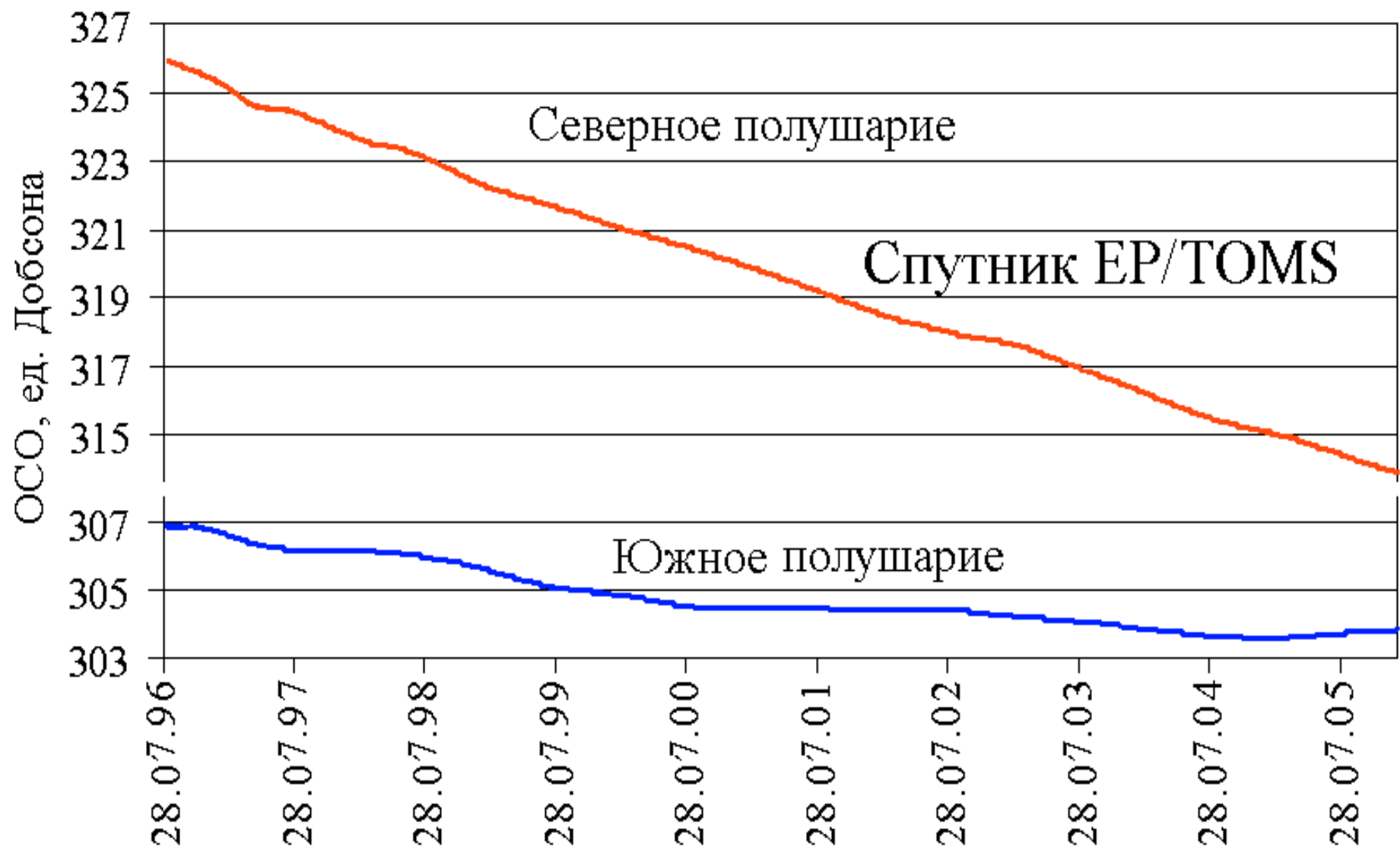
Приводимые в литературе сведения о степени истощения озонового слоя противоречивы: от 2 до 7% в десятилетие.

Для оценки скорости деградации озонового слоя необходимо выделить тренды. Но эти тренды слабо выражены, их трудно выделить и оценить.

Для выделения трендов мы применили метод сингулярного спектрального анализа. Найдено, что с 1978 по 1993 г. в средних широтах Северного полушария озоновый слой истощался на 3,4 % в расчете на 10 лет, Южного – на 4,8%. С 1996 по 2008 г. в Северном полушарии наблюдается истощение на 2,9%, в Южном – на 1,0%. Погрешность оценивания скорости деградации ОСО не превышает 0,02% в десятилетие.

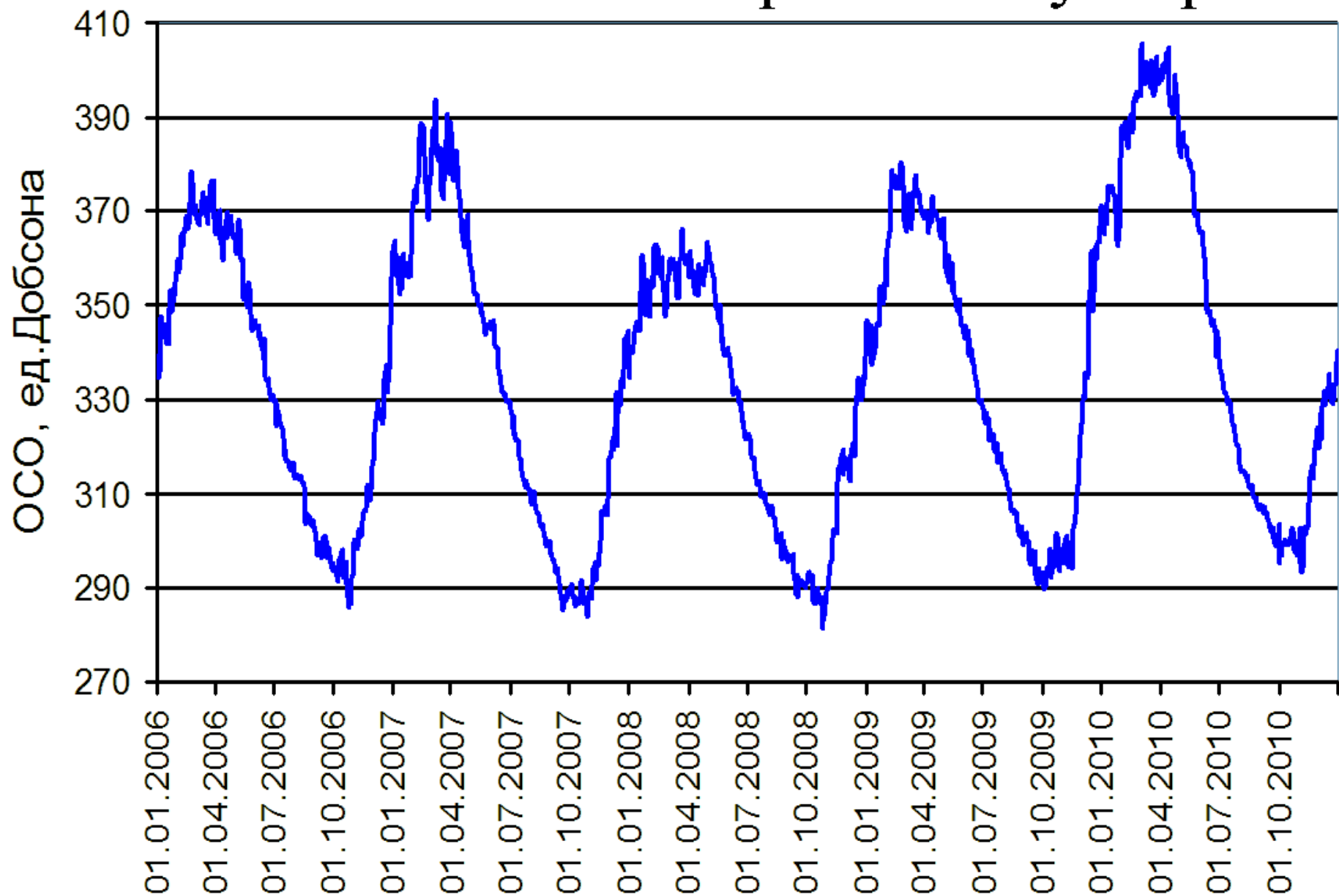
Тренды ОСО позволяют оценить скорость деградации озонового слоя и предсказать дальнейшую его эволюцию.

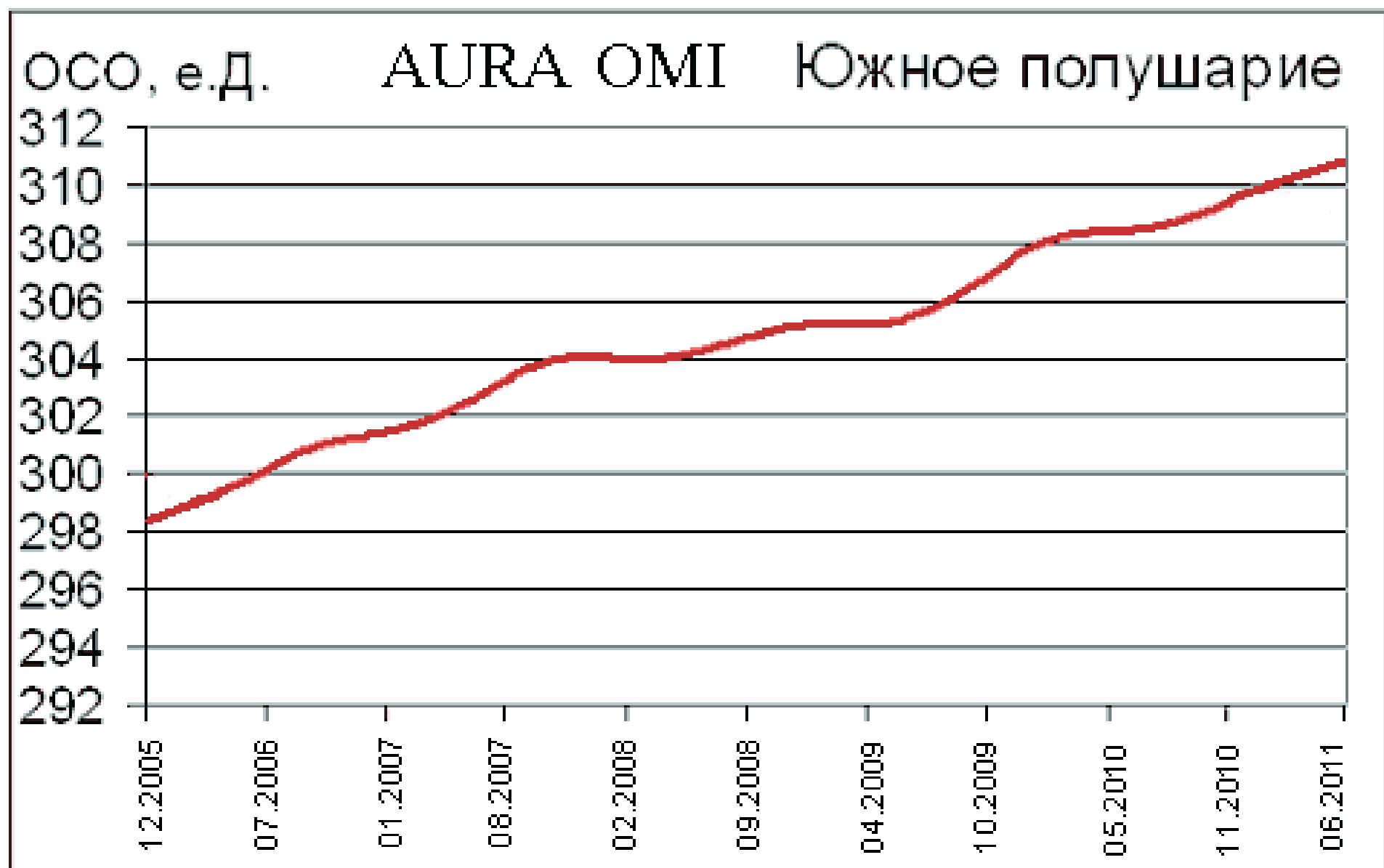




В Северном полушарии истощение на 2,9%,
а в Южном – на 1,0% за десятилетие.

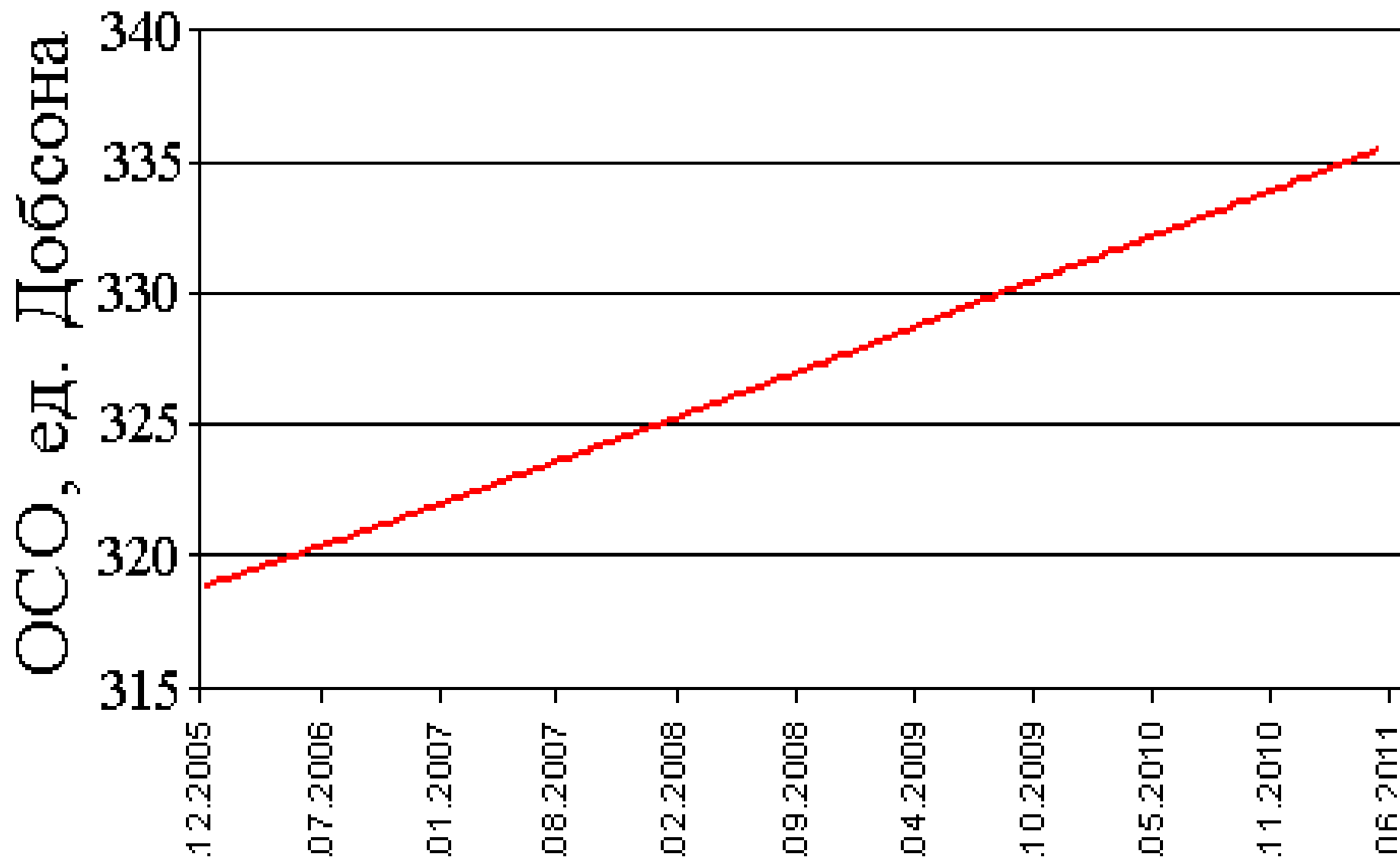
AURA OMI Северное полушарие





В Северном полушарии увеличение на 10%,
а в Южном – на 7% за десятилетие

AURA OMI Северное полушарие



АОА. В 1973 г. Ш. Роуланд и М. Молина обнаружили, что атомы хлора, выделяющиеся из некоторых летучих искусственных химических веществ под действием солнечного излучения, могут разрушать стратосферный озон. Ведущую роль в этом процессе они отвели так называемым *фреонам* (хлорфторуглеродам), которые в то время широко использовались в бытовых холодильниках, в кондиционерах, и т.д. На основе лабораторных экспериментов и модельных расчетов нобелевских лауреатов – Роуланда, Молины и Круцена приняты ограничения на производство и использование фреонов и других веществ, разрушающих озоновый слой.

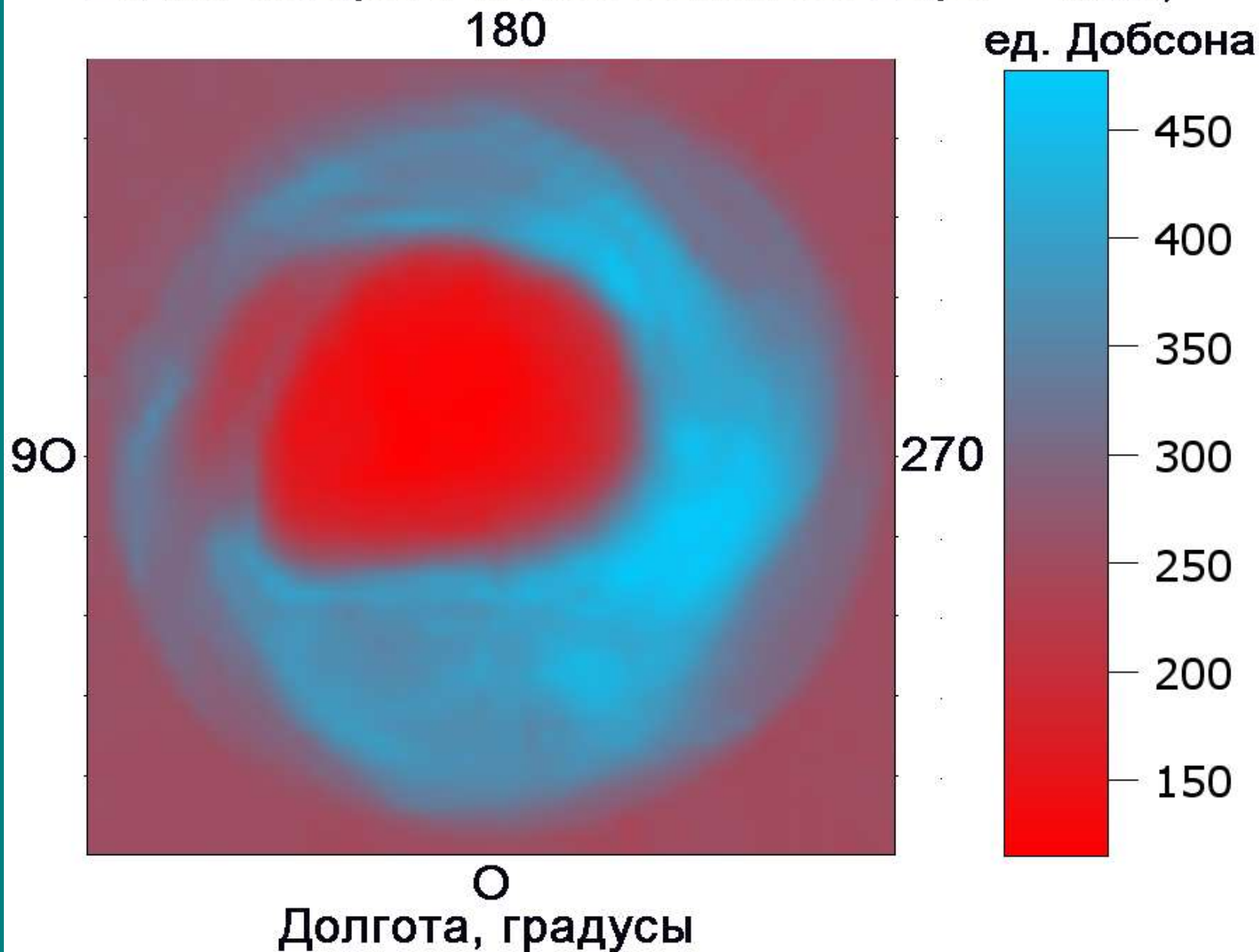
Сегодня Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, предусматривает контроль за 100 химическими соединениями.

Протокол подписали более 200 государств. Запрет на производство и потребление озоноразрушающих веществ имел серьезные экономические и политические последствия. Ведь фреоны обладают массой достоинств. Поэтому руководители химической промышленности вначале были против запрета. Однако позже они поняли свою выгоду. К запрету присоединился концерн Дюпон, предложивший использовать вместо фреонов гидрохлорфторуглероды и гидрофторуглероды. Начался «бум» с заменой старых холодильников и кондиционеров новыми, не содержащими озоноразрушающих веществ.

Антропогенная (фреоновая) теория возникновения антарктической озоновой дыры стала как бы истиной в последней инстанции. Однако она не исчерпывает всех явлений в районе озоновой дыры.

Весной в стратосфере происходит перенос масс озона (вместе с воздухом) из тропиков к средним и полярным широтам. Кориолисова сила «закручивает» эти массы в кольцо на средних широтах, здесь общее содержание озона резко возрастает. Поле выглядит как «вал» с большим ОСО (до 470 единиц Добсона) диаметром около 7000 км, окружающее область с малым ОСО – АОА.

Поле озона в Южном полушарии 30 сентября 2007 г.
Видна антарктическая озоновая дыра



Вот вкратце современная теория образования АОА

1. Считается, что циркумполярный вихрь экранирует полярную область от средних широт, и туда в начале весны озон не поступает (и не уходит оттуда?).

Итак, озон не поступает, остатки озона в АОА разрушаются, когда весной Солнце начинает освещать полярную область.

Известны несколько фотохимических циклов разрушения озона – кислородный, водородный, азотный и хлорный (вместе с бромом).

2. Для того, чтобы исключить азотный цикл, разработана теория стратосферных полярных облаков, которые связывают соединения азота и «позволяют» соединениям хлора уничтожать молекулы озона.

Со времени принятия Монреальского протокола почти все исследования по деградации озонового слоя и механизмов образования озоновых дыр направлены на доказательство химического антропогенного происхождения этих явлений.

Однако возможны и другие подходы к изучению озоновой проблемы.

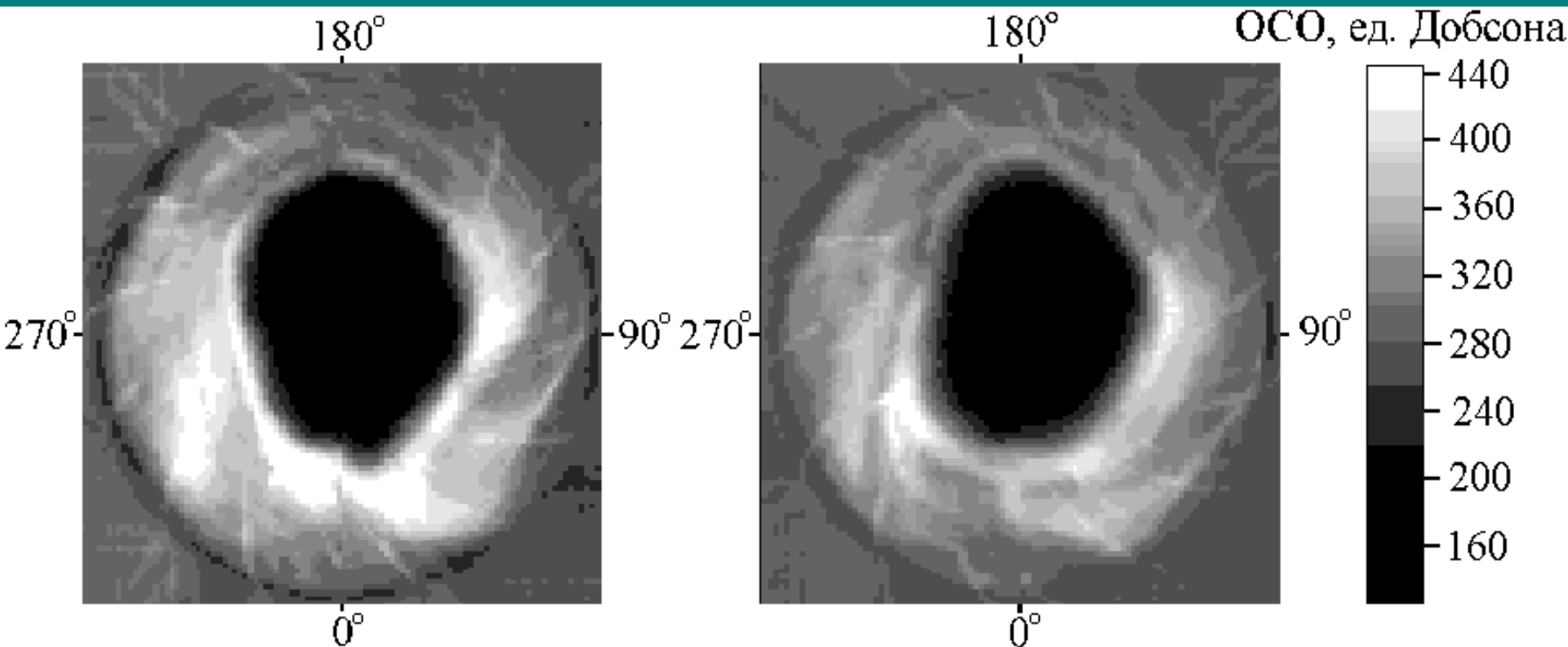
Ежедневно в Интернет выкладывается глобальная цифровая карта озонового слоя Земли, полученная с помощью искусственных спутников Земли. К сожалению, интерес к ней невелик, хотя из неё можно получить много важной информации.

Например, спутниковые данные дают уникальную возможность изучать движение воздушных масс в стратосфере, озон выступает как трассер.

Озоновый слой в Южном полушарии

29 сентября 2010 г.,

30 сентября 2010 г.

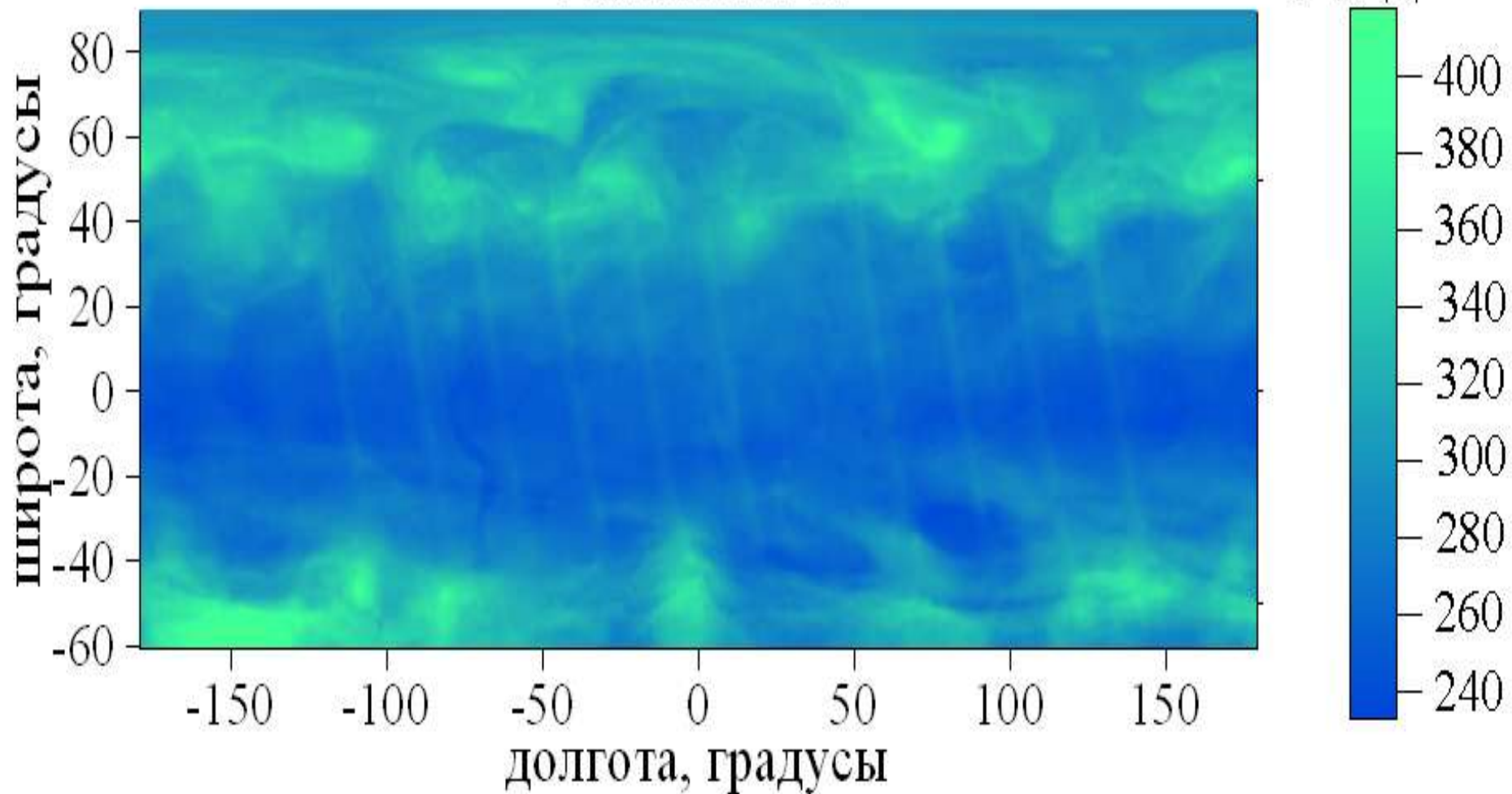


Однако в химическую антропогенную теорию не укладывается много известных фактов. Во-первых, эта теория не может объяснить увеличение ОСО в отдельных географических регионах. Во-вторых, она не учитывает изменения циркуляции нижней стратосферы, которая оказала наибольшее влияние на формирование АОА в 2000, 2002 и 2004 годах. И в-третьих, фреонно-гетерогенная теория не может ответить на главный вопрос: почему дыра существует в южном полушарии, хотя фреоны вырабатывались в северном, при том, что в период формирования АОА атмосферный перенос между полушариями, возможно, прекращается? Наконец, почему АОА существует до сих пор, хотя производство фреонов давно запрещено, и было объявлено, что АОА исчезнет к 2010 г.?

Облачная структура озонового слоя в средних и высоких широтах

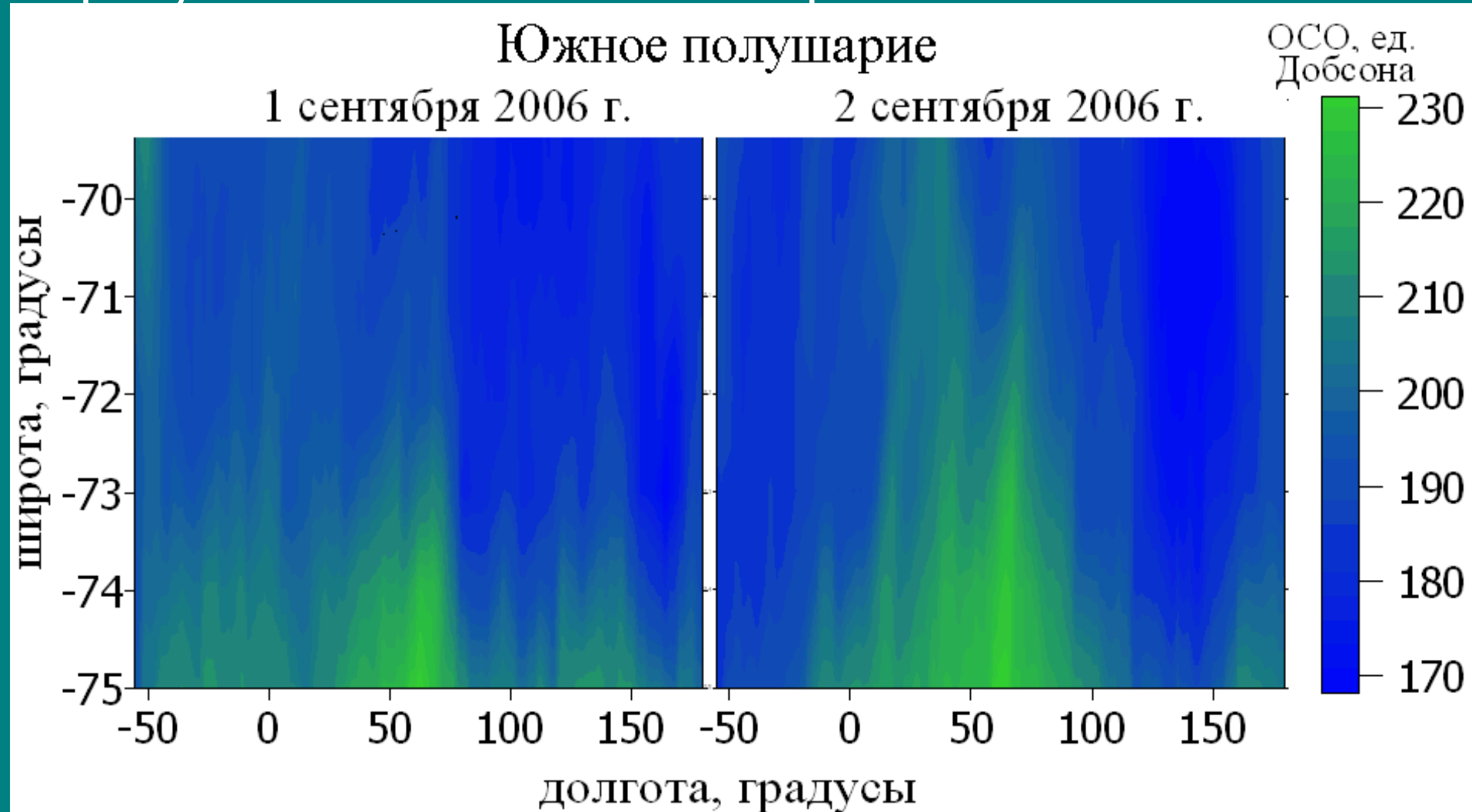
1 июля 2009 г.

ОСО, ед. Добсона

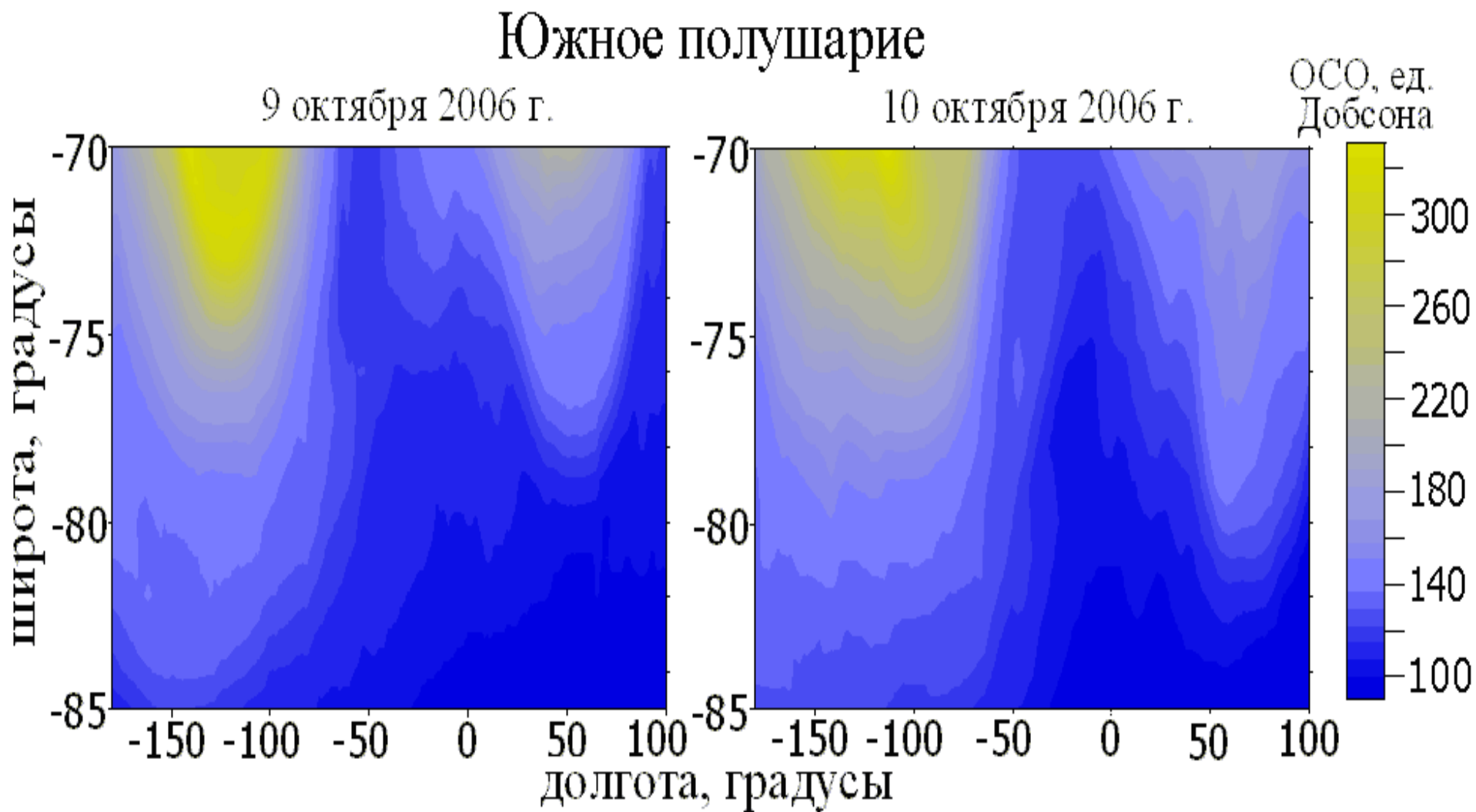


Облачная структура озонового слоя в средних и высоких широтах позволяет следить за движением озонового слоя так же, как мы следим за облаками с земли. Наша методика позволила найти среднюю скорость зонального переноса масс озона в стратосфере, оказалось, что в средних широтах она различна в двух полушариях и такая же, как средняя скорость зонального переноса воздуха в тропосфере. В Северном полушарии озон весной втекает в полярные области; в Южном полушарии весной озон вытекает из озоновой дыры в средние широты.

Массы озона перемещаются от полюсов к средним широтам (меридиональный перенос), озон «вытекает» из области АОА, эта аномалия образуется не только за счет разложения озона.



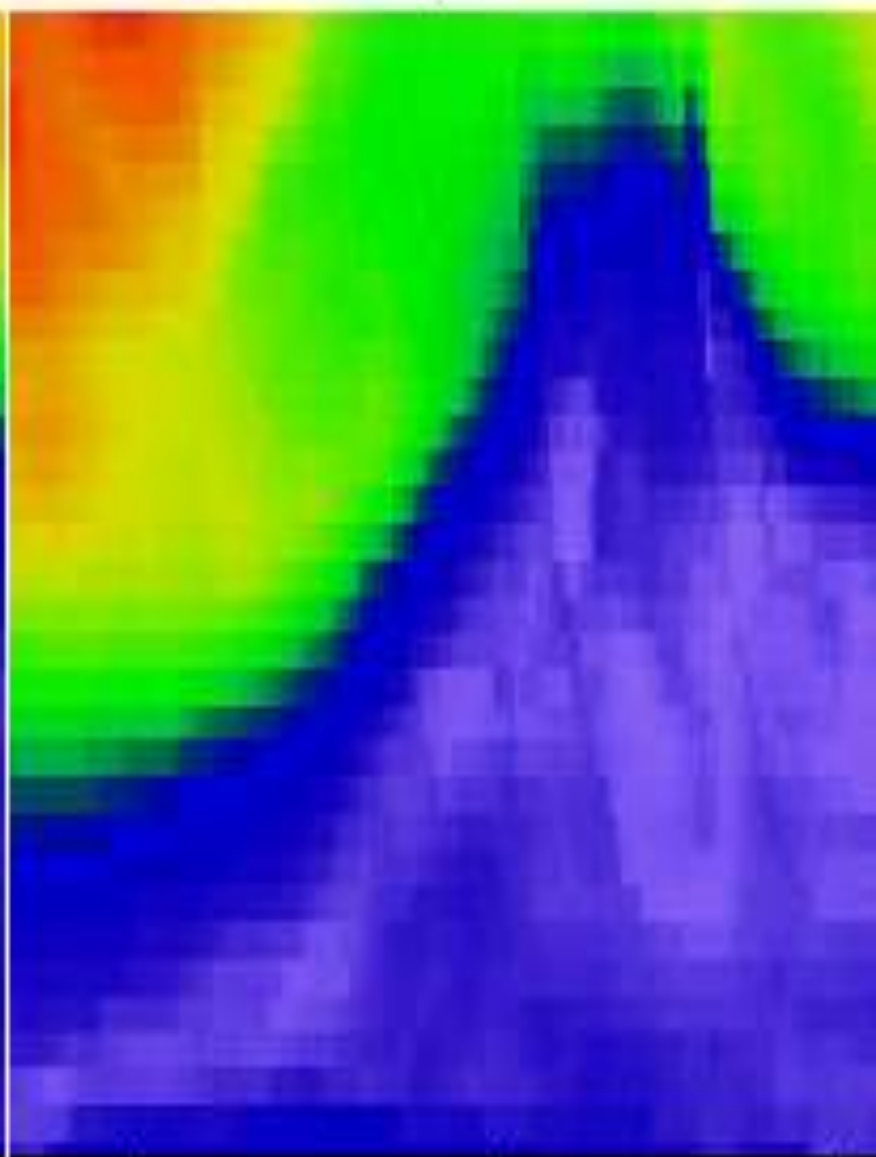
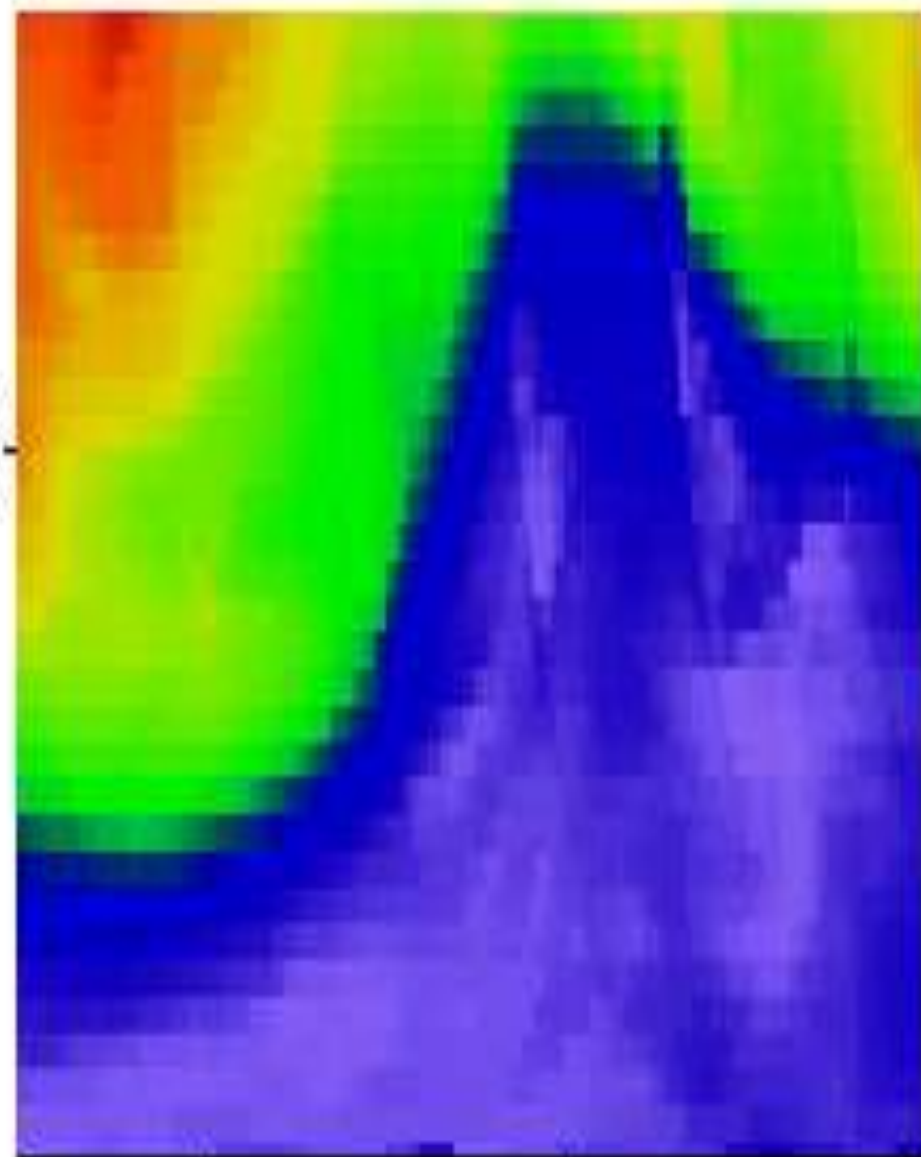
Происходит перемещение масс озона от экватора и средних широтк полюсам (меридиональный перенос к полюсам). Область АОА не изолированная.



14 сентября 2011 г..

15 сентября 2011 г..

-50-



-150

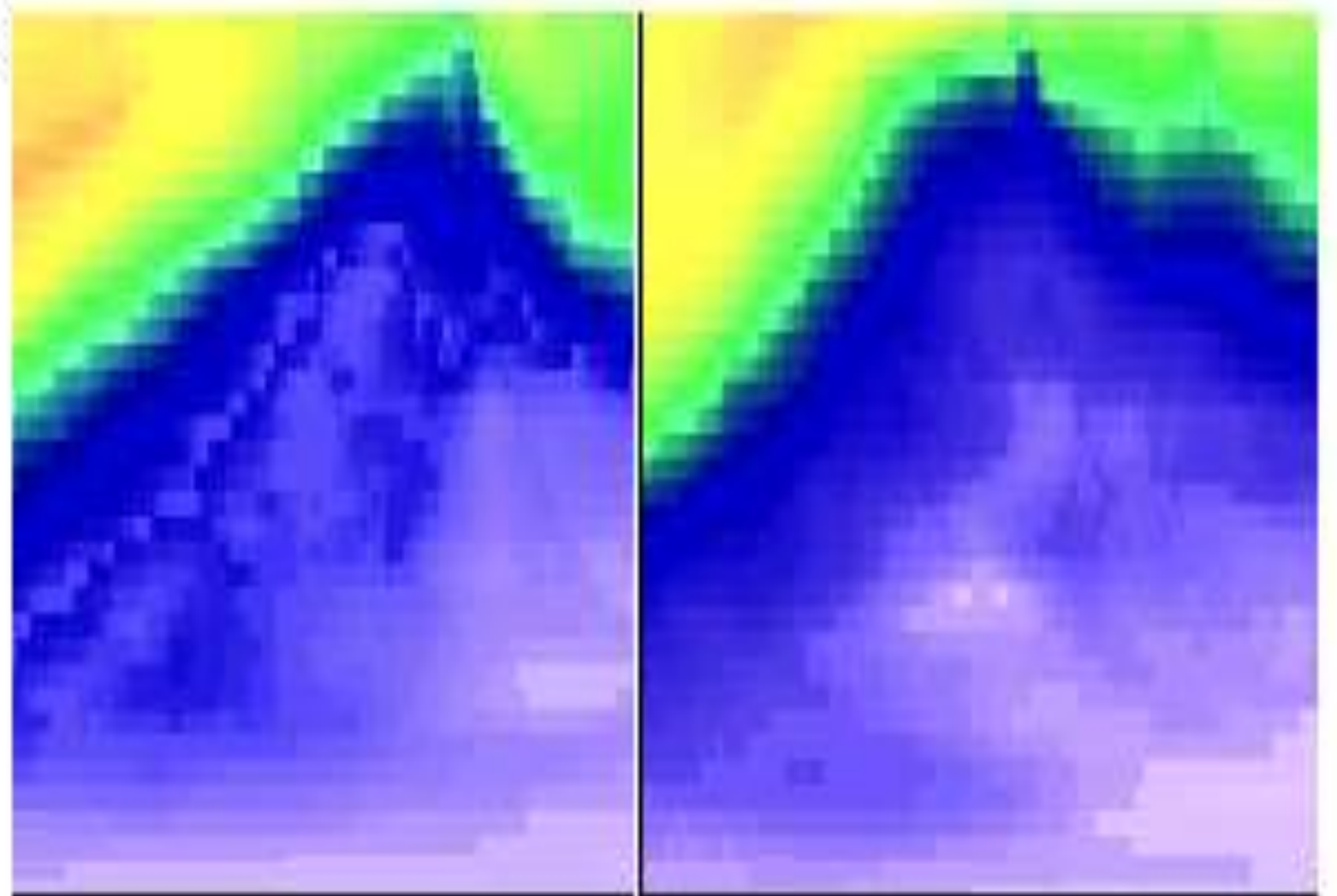
-100

-150

-100

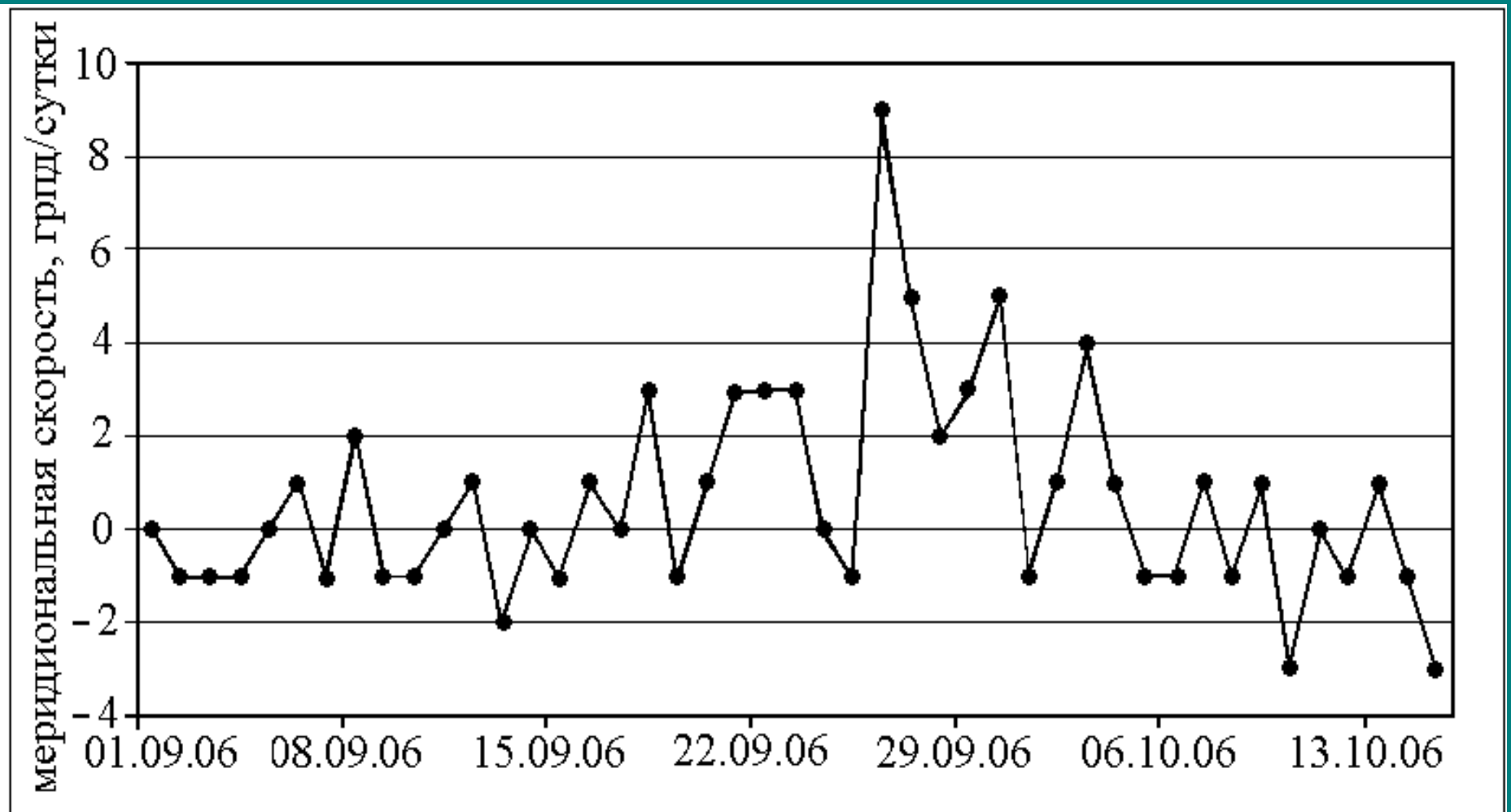
3 октября 2011 г 4 октября 2011 г

- 50 N



- 150 W -100 W -150 W -100 W

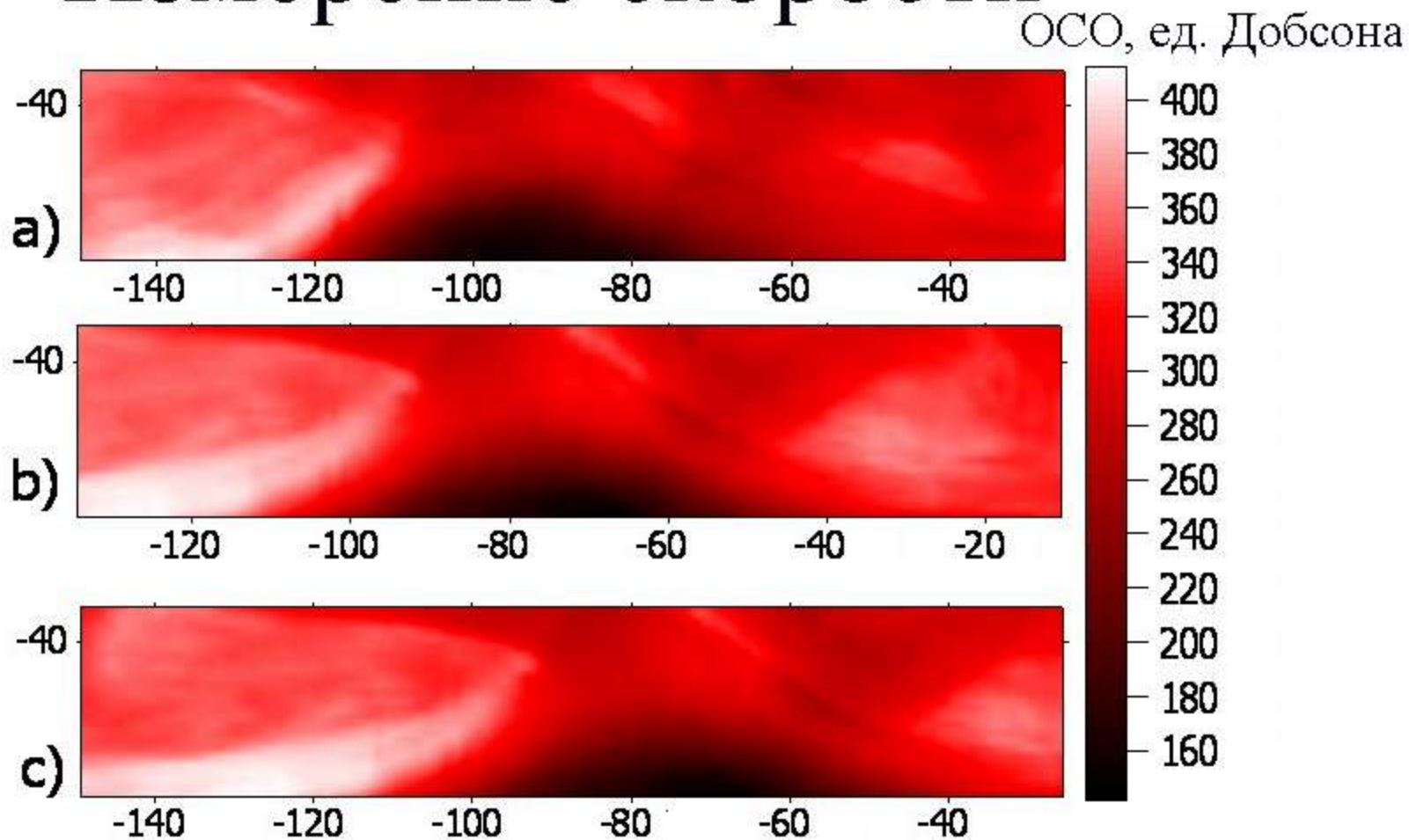
Зависимость скорости меридионального переноса от времени



Южное полушарие, среднее за сентябрь 1997-2008 г.



Измерение скорости



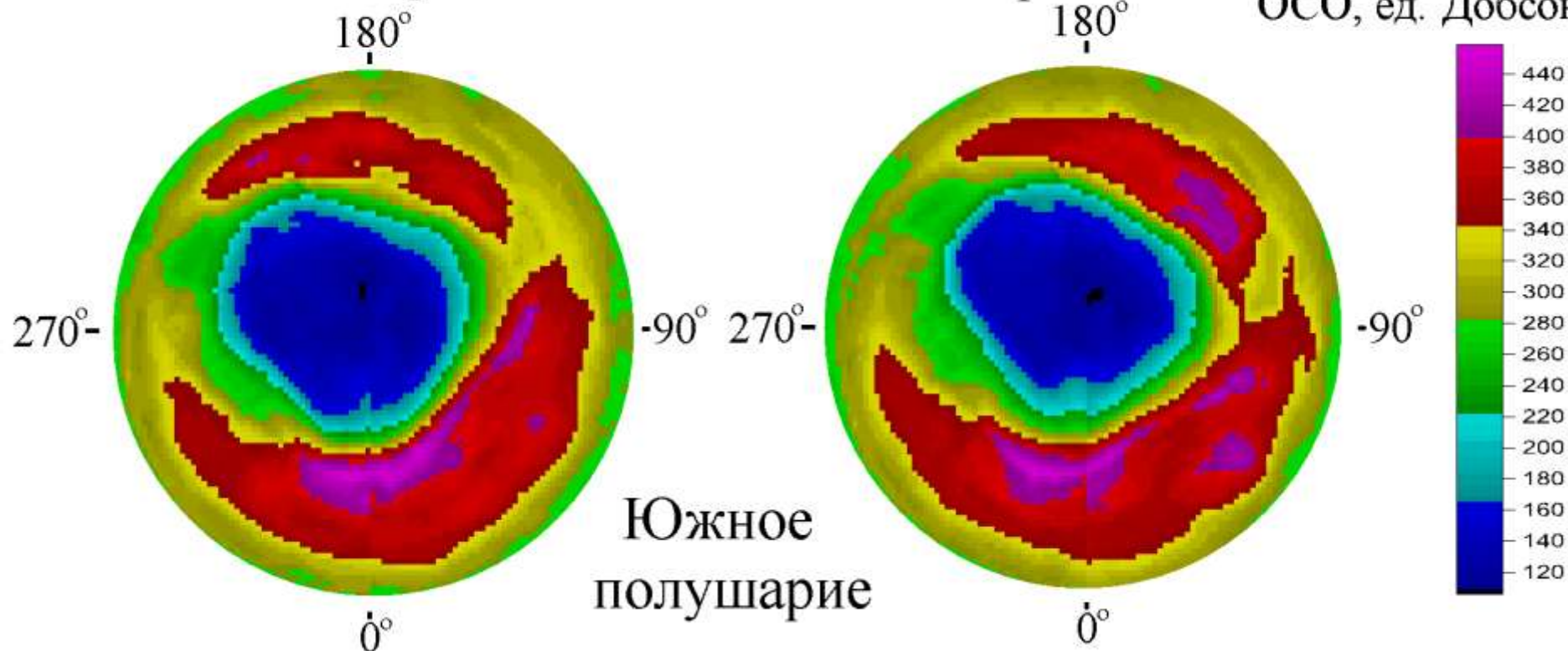
- a) 3 октября 2006 г.
- b) 4 октября 06 г, коэффициент корреляции 0,946 при сдвиге по долготе на 18,75 град/сутки в западном направлении,
- c) 4 октября 06 г, без сдвига. Коэффициент корреляции 0,661.

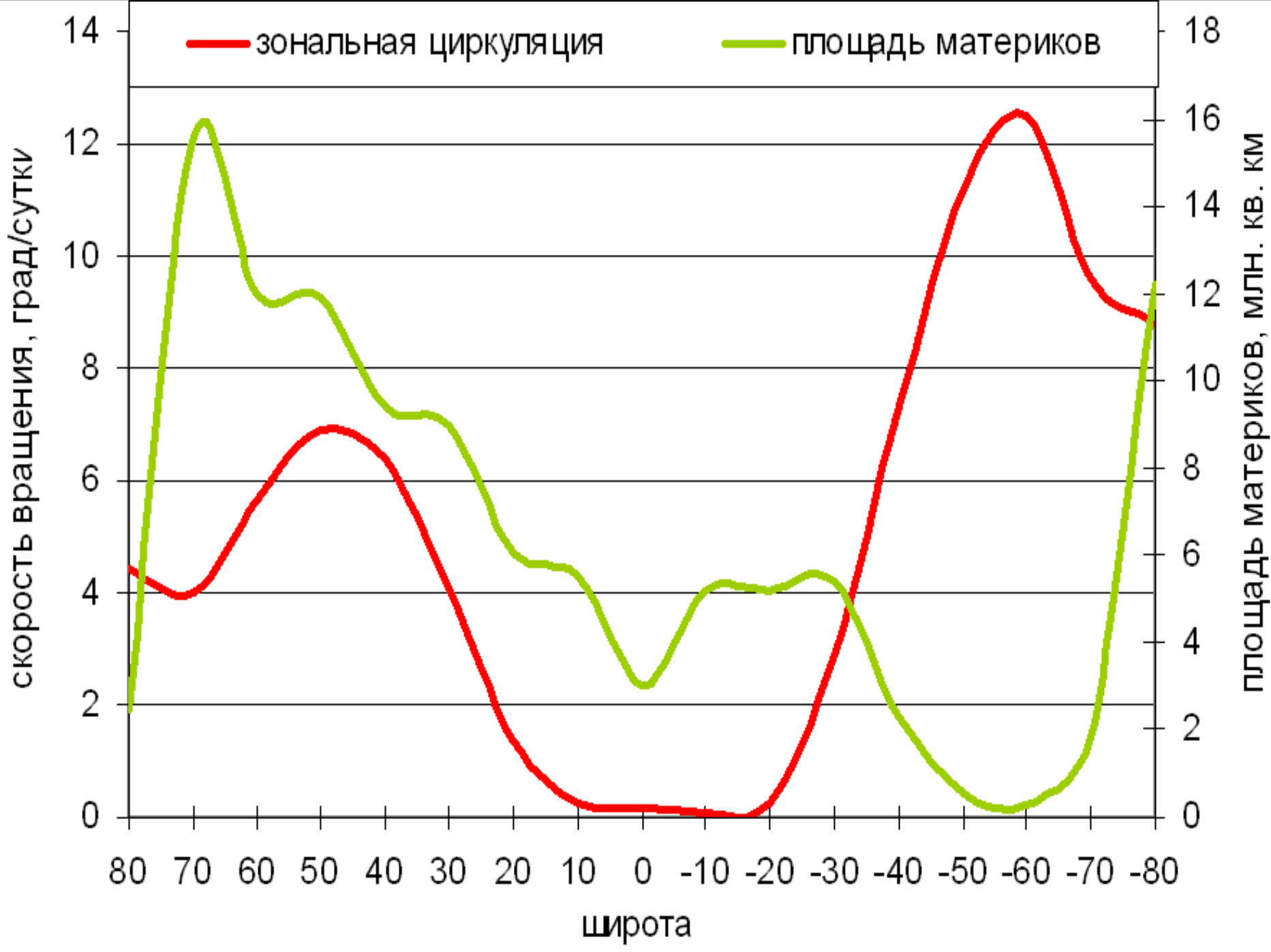
Наша методика позволила найти среднюю скорость зонального переноса масс озона в стратосфере, оказалось, что в средних широтах она различна в двух полушариях и такая же, как средняя скорость зонального переноса воздуха в тропосфере. В Северном полушарии озон весной втекает в полярные области; в Южном полушарии весной озон вытекает из области озоновой аномалии в средние широты.

27 сентября 2011 г.

28 сентября 2011 г.

ОСО, ед. Добсона



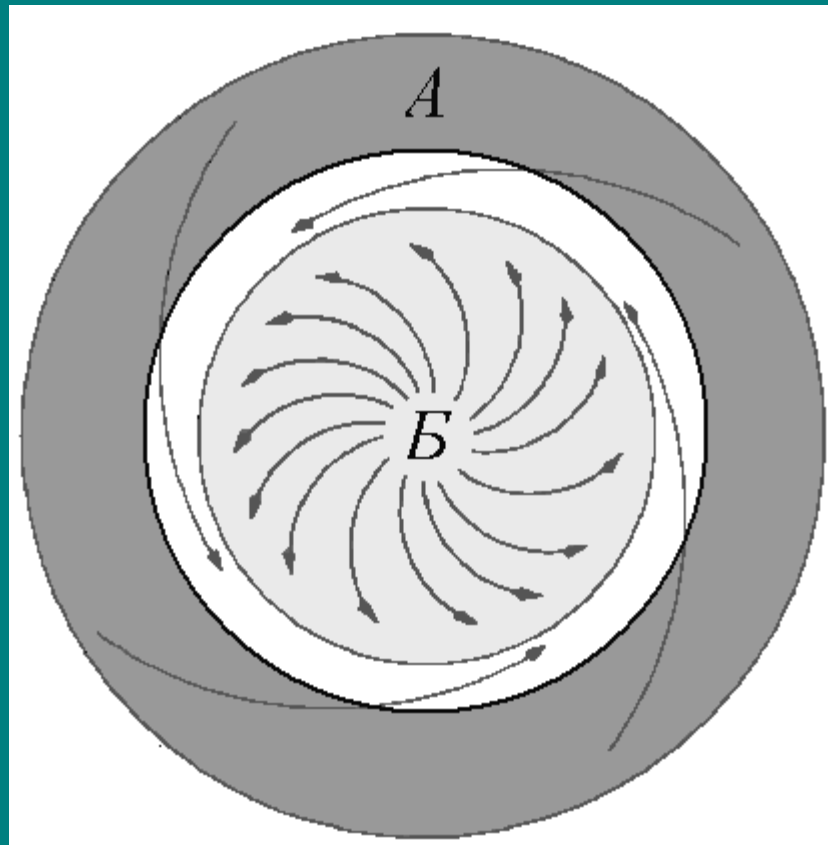


Изменение зональной скорости в области накопления ОСО и дефицита массы озона в области Антарктики, коэффициент корреляции 0,78



В 1996-2009 гг. за 8-12 дней до дня минимума ОСО возникают изменения в зональной скорости масс озона: в первые 8-9 дней скорость возрастает, а в следующие 1-3 дня – уменьшается. Выявлены две широтные области накопления озона в ЦВ в разные годы – 45° - 50° ю.ш. и 50° - 55° ю.ш., в которых оценивалась средняя зональная скорость за первые 8-9 дней. Здесь же показан дефицит массы озона O_3MD в Антарктической озоновой аномалии, взятый в дни минимума ОСО в исследуемый период. Между зональной скоростью и O_3MD существует тесная зависимость, коэффициент корреляции составляет 0,78. Можно утверждать, что изменение количества озона в АОА связано с динамическими процессами в нижней стратосфере.

Стрелки показывают возможное направление переноса масс озона из экваториальной области *А* в область циркумполярного вихря (выделена белым цветом) и переноса из полярной области *Б* под действием центробежной силы

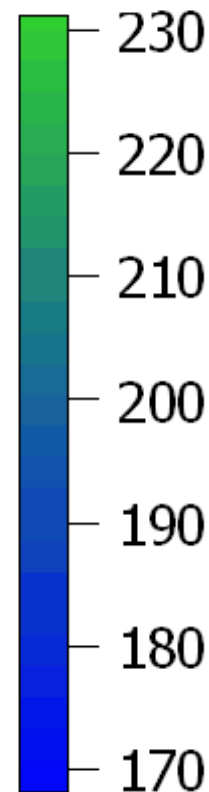


Южное полушарие

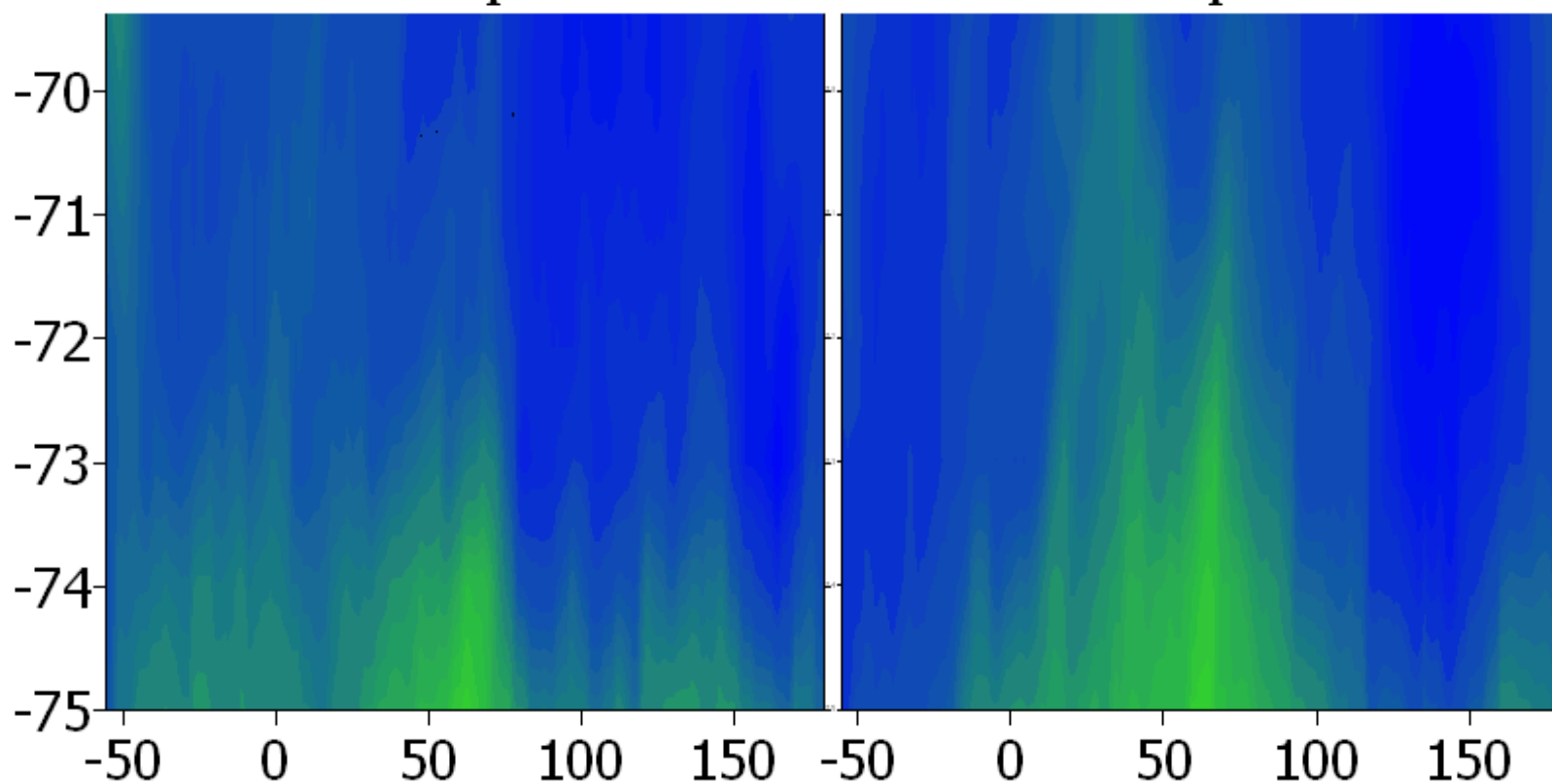
1 сентября 2006 г.

2 сентября 2006 г.

ОСО, ед.
Добсона



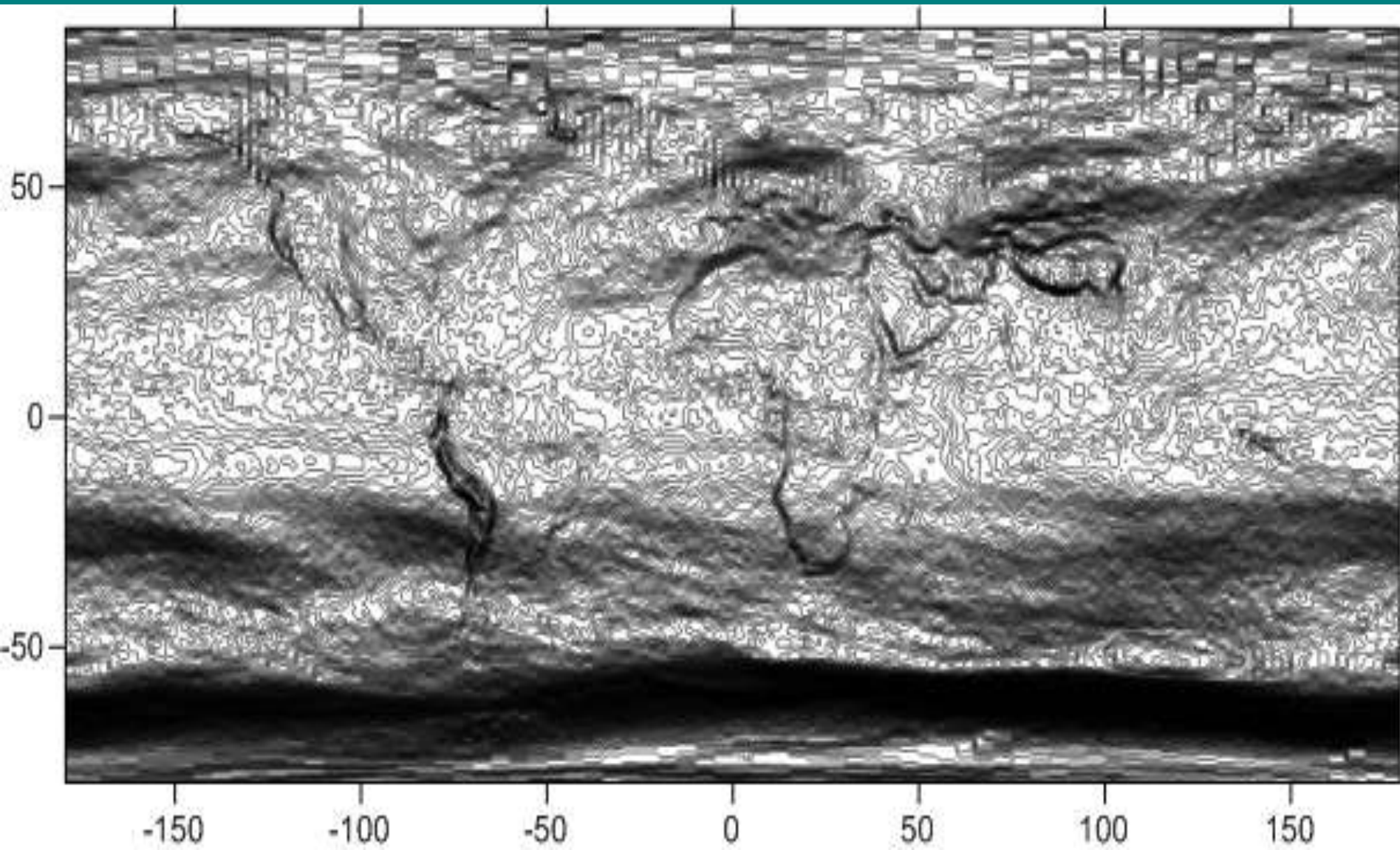
широта, градусы



долгота, градусы

Спасибо за внимание

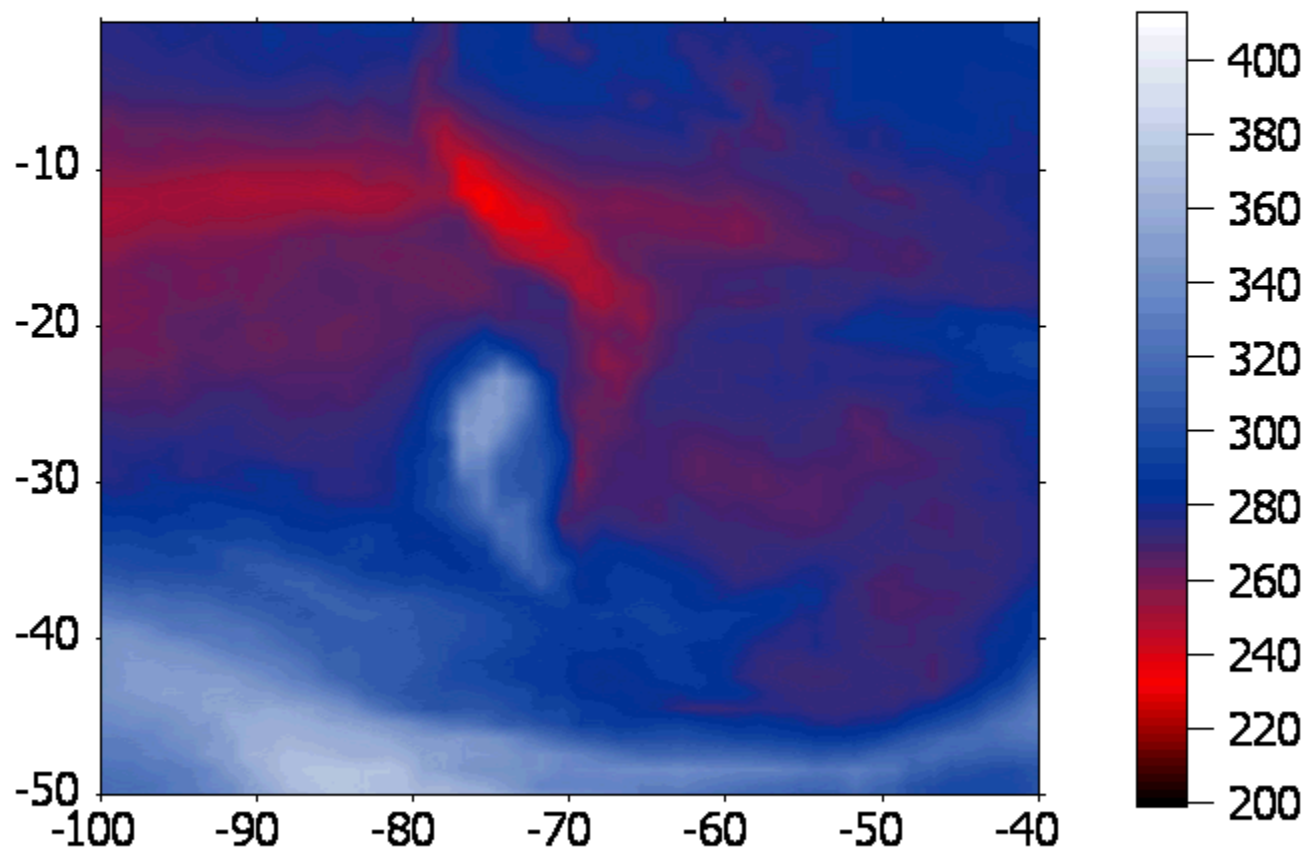
Что это такое?



Остановка масс озона перед горами

Замечено что перемещению озона мешают горы высотой 6-7 км. На изображении виден сгусток озона, скопившийся из-за торможения воздушных масс хребтом Анд. Можно заметить что над горами относительно низкое содержание озона.

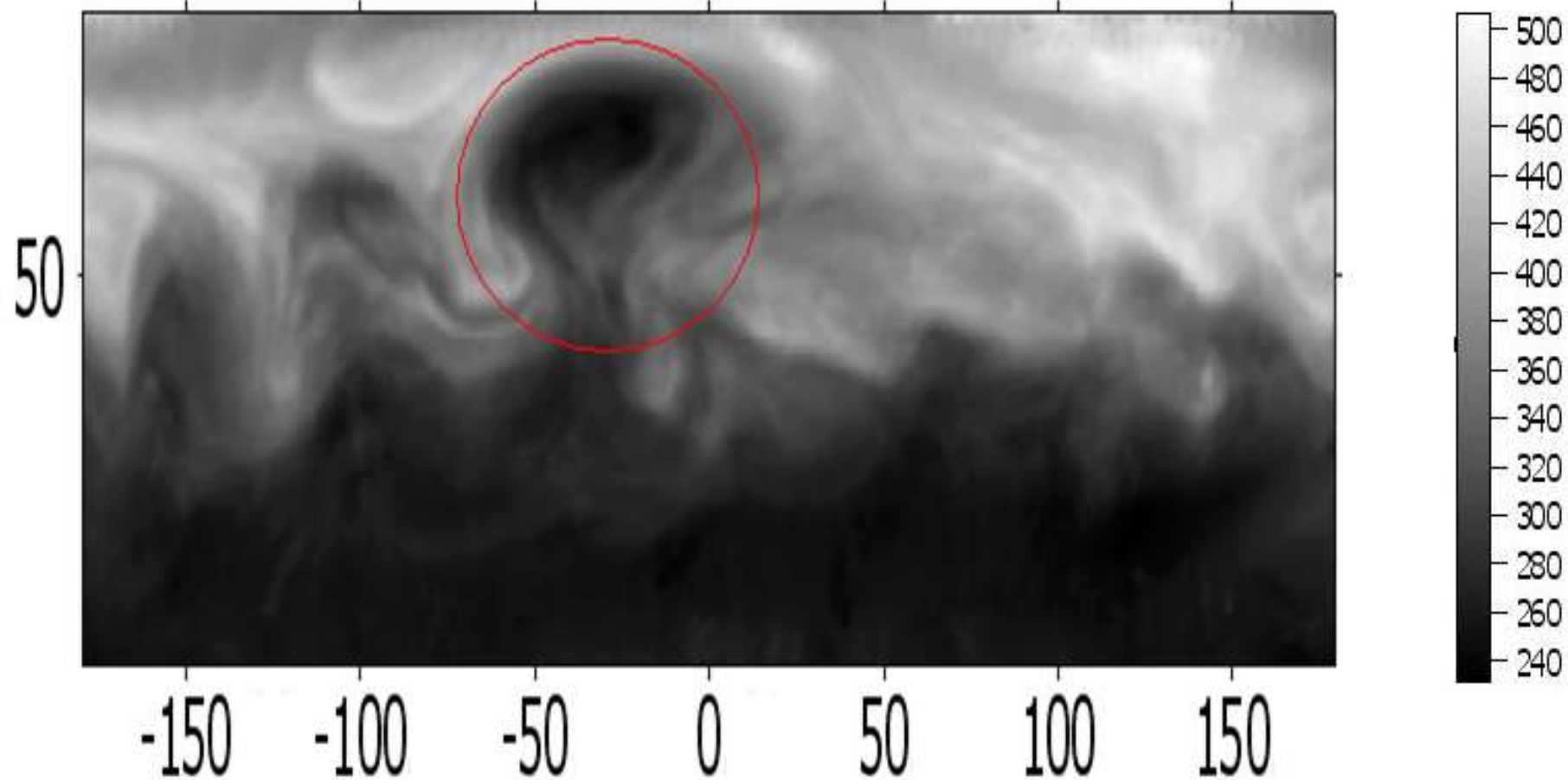
ОСО, ед. Добсона



ОСО в Северном полушарии, 17 марта 2006 г.

Минидыра над о. Гренладия

ОСО, ед. Добсона



27 сентября 2011 г.

28 сентября 2011 г.

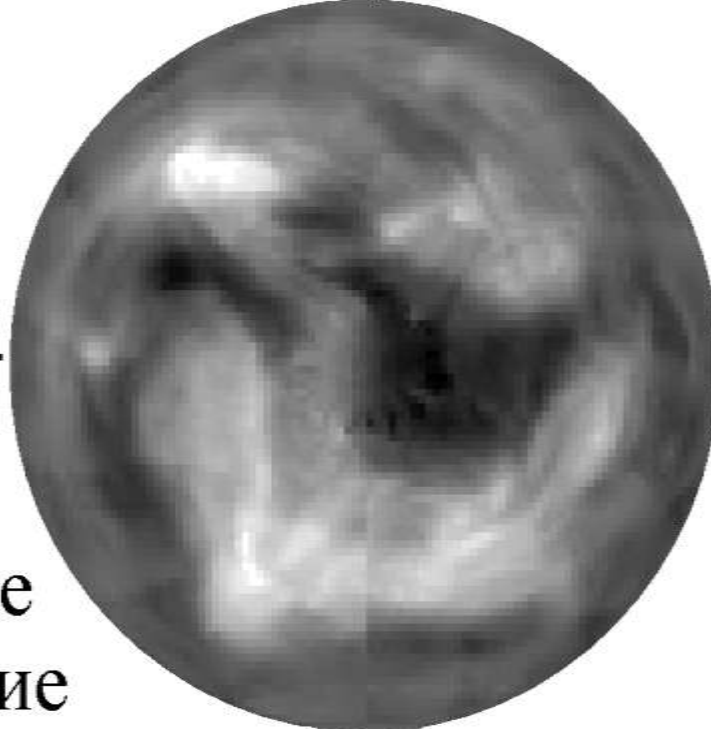
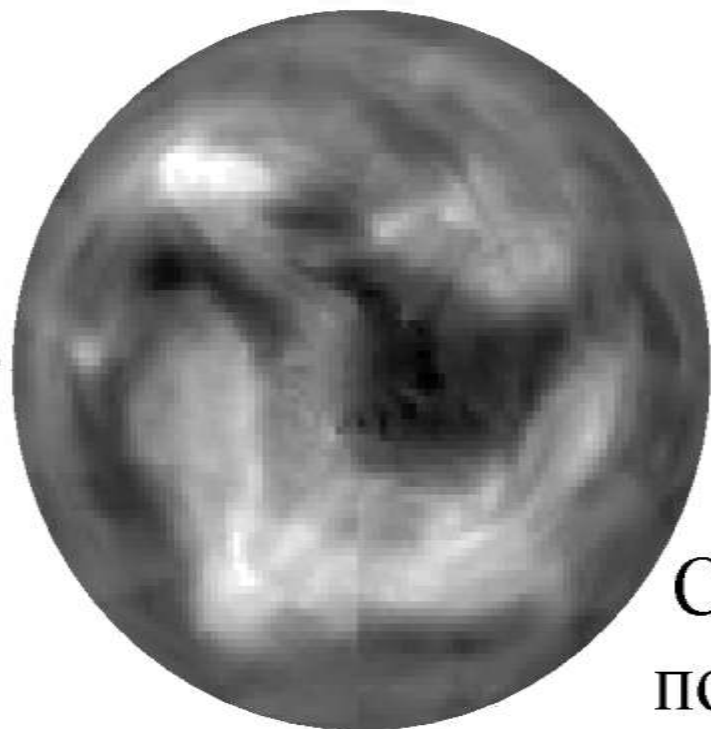
180°

180°

270°

270°

270°



Северное
полушарие

0°

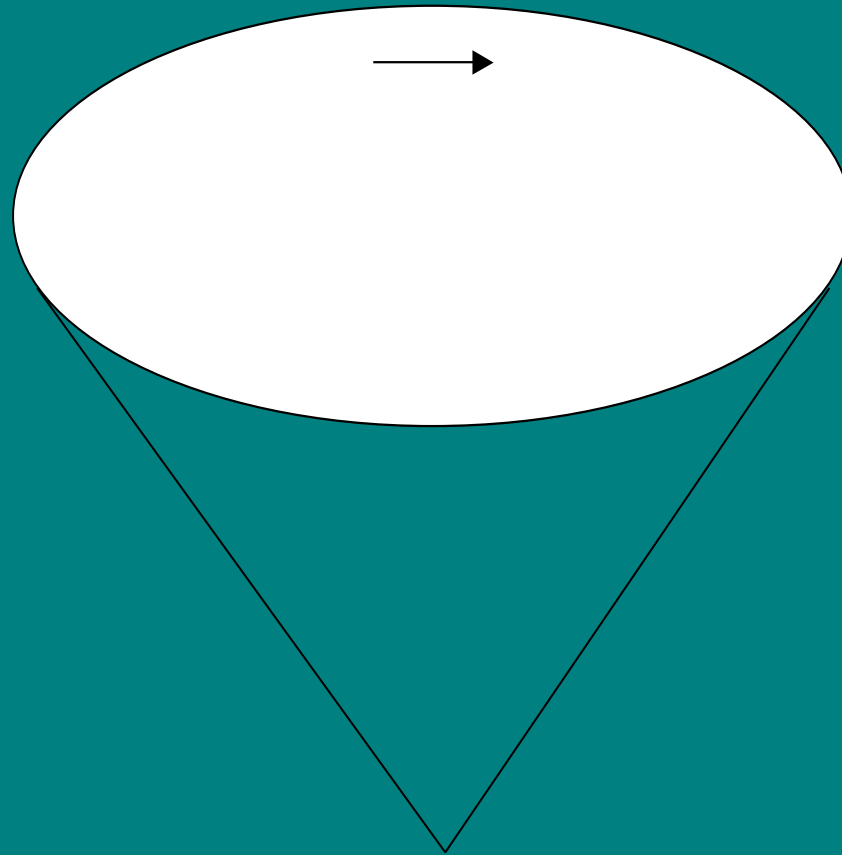
0°



ОСО, ед. Добсона

22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

Вращение вала и озона внутри него создает своеобразную центрифугу, озон из внутренней части отбрасывается к валу.



50



-150

-100

-50

0

50

100

150