

Хаотические вариации погоды и нехаотические короткопериодные вариации климата

Сонечкин Д.М.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова, РАН



ХАОТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И ЕЕ ВНУТРЕННЯЯ УПОРЯДОЧЕННОСТЬ В МАСШТАБАХ БОЛЕЕ НЕДЕЛИ

1. Что такое погода и что такое климат?
2. Непрерывность энергетического спектра вариаций погоды доказывает хаотичность, а потому ограниченную предсказуемость, погоды.
3. Есть ли какой-то «внутренний порядок» в динамике атмосферы, определяющей погоду и ее изменения?
 - 3.1. Качественное исследование простой модели Лоренца: синхронизация волн как свидетельство наличия «внутреннего порядка» в динамике этой модели.
 - 3.2. Синхронизация распространения планетарных волн в реальной атмосфере.
4. Принудительная синхронизация планетарных волн как средство исключения из рассмотрения наиболее неустойчивых компонент погодных изменений и, тем самым, преодоления недельного предела предсказуемости.
Квазисинхронная прогностическая модель.

НЕХАОТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ КЛИМАТА В МАСШТАБАХ ОТ ГОДА ДО ОДНОГО – ДВУХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ

5. Энергетический спектр вариаций погоды и климата в диапазоне временных масштабов от месяца до года.
6. Динамика изменений состояния климатической системы в диапазоне временных масштабов от года до одного – двух десятилетий.
7. Существование Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО), в которой ЭНЮК выступает как «волна – убийца».
9. Дискретность энергетических спектров ЭНЮК и ГАО как доказательство странной нехаотичности вариаций ЭНЮК и ГАО.
10. Какие периодические внешние силы определяют положение пиков в спектрах ЭНЮК и ГАО?
11. Объяснение того как «полюсный прилив», сам возбуждаемый Чандлеровским колебанием полюсов Земли, может вызывать теплое течение Эль-Ниньо.
12. ГАО в современных климатических моделях.

**ХАОТИЧЕСКАЯ ПОГОДА
И ЕЕ ВНУТРЕННЯЯ
УПОРЯДОЧЕННОСТЬ
В МАСШТАБАХ БОЛЕЕ
НЕДЕЛИ**

1. Что такое погода и что такое климат?

После знаменитых работ Э. Лоренца все метеорологи согласны, что изменения погоды хаотичны, т.е. неустойчивы и, следовательно, непредсказуемы на более или менее долгие сроки вперед. Более того, стали считать, что это же верно для долгопериодных вариаций в атмосфере, называемых климатом.

Однако, сам Лоренц говорил, что **он не знает, хаотичен ли климат или нет?**

Уместно спросить, в чем состоит различие между погодой и климатом, которое позволяет сомневаться в хаотичности климата?

Чтобы ответить на этот вопрос, надо сначала попытаться определить, что такое погода, и что такое климат?

К сожалению, до сих пор **нет строгих определений этих понятий.**

Обычно метеорологи считают, что погода – это характеристика текущего состояния приземного слоя атмосферы, а климат – это совокупность всех таких состояний, которые могут быть наблюдаемы в данном месте в данное время года. Сам Лоренц определил различие между погодой и климатом, используя образное выражение Марка Твена:

"The climate is what we expect and the weather is what we get".

Желая получить что-то более определенное в количественном отношении, А.С. Монин упомянул, что существует некоторое распределение вероятностей всех возможных состояний погоды. Климат характеризуется математическим ожиданием этого распределения, но также и возможными отклонениями от него (климатическими аномалиями) и тем насколько они могут быть продолжительными. Все эти характеристики климата должны быть оценены по данным метеорологических наблюдений за достаточно долгий период времени.

В середине 20-го века ВМО решила, что для определения климата наиболее подходит 30-летний период.

Из этого следует, что в качестве изменений климата надо рассматривать изменения статистик 30-летних интервалов времени друг к другу. Но на практике даже междугодовые изменения метеорологических характеристик часто рассматривают как климатические изменения. В своем докладе я тоже буду следовать этой практике.

Вместе с тем, во второй части своего доклада, посвященной короткопериодным вариациям климата, я укажу, что

строгое определение климата через распределение вероятностей состояний атмосферы невозможно.

2. Хаос погоды

Причина существования хаоса в изменениях погоды ото дня ко дню вполне ясна: Атмосферные движения постоянно перераспределяют массы воздуха с их специфическими свойствами (температурой, влажностью и т. д.). Даже малые изменения в этих движениях влияют на последующее распределение воздушных масс, т.е. на погоду.

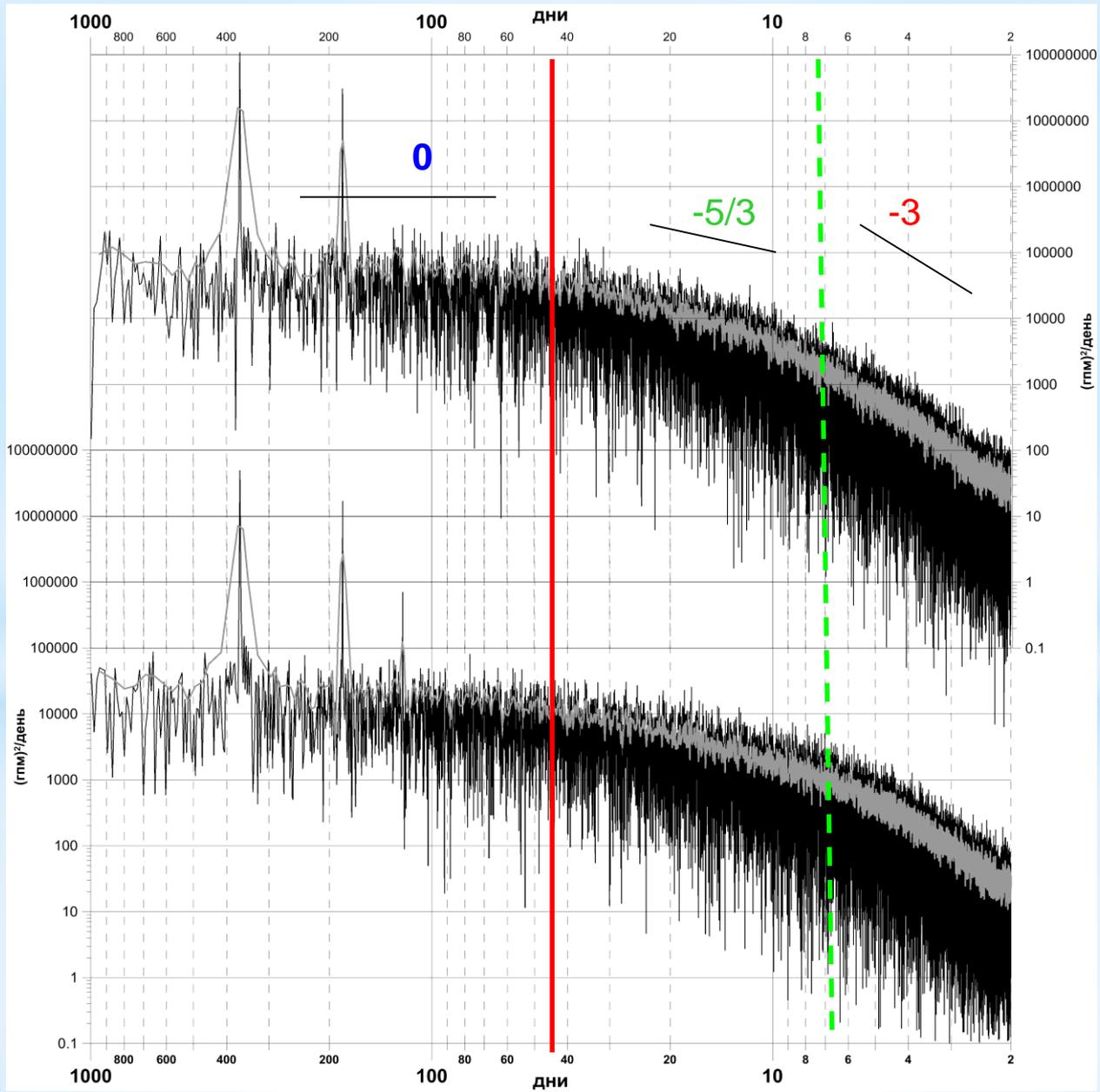
В свою очередь, перераспределенные воздушные массы сами влияют на структуру атмосферных движений и т. д.

В результате возникают вариации движений всех пространственных и временных масштабов, а энергетический спектр, который есть средняя количественная характеристика этих движений, оказывается непрерывным.

Два примера такого спектра показаны на следующем слайде.

Вверху – временной энергетический спектр известного индекса Е.Н. Блиновой, который количественно характеризует интенсивность западно-восточного переноса в умеренных широтах на среднем уровне тропосферы (500 гПа).

Внизу – такой же спектр для толщины слоя 500 – 1000 гПа.



Особенности этого спектра в масштабах от дня до месяца состоят в следующем:

- Его изменение по периодам является **гладким**, так что нет никаких пиков или резких изломов спектральной плотности. Это является отличительным свойством хаоса («**странного хаотического аттрактора**» - СХА) в динамических системах, которые находятся под воздействием постоянных внешних сил. **СХА** может существовать также в системах с одной периодической внешней силой. Тогда для его наблюдения надо рассматривать изменения состояния системы на периоде внешней силы (в математике это называется «**отображением на периоде внешней силы**»).

- Средний наклон спектра индексов Блиновой в диапазоне масштабов от дня до примерно недели следует закону «**-3**» (в двойной логарифмической шкале координат). Это говорит о существовании прямого каскадного переноса завихренности от недельного масштаба, где энергия вводится в атмосферу за счет разрешения бароклинной неустойчивости циклонов, в сторону меньших масштабов, где происходит диссипация за счет вязкости и теплопроводности.

- В диапазоне от примерно недели до одного – двух месяцев наклон следует закону «**-5/3**». Это говорит о существовании обратного каскада энергии в сторону больших масштабов (так называемой «**отрицательной вязкости**»). В результате из отдельных циклонов и антициклонов формируются более крупные и долгоживущие образования, такие как блокирующие антициклоны и др.

Эти образования представляют основной интерес при средне- и долгосрочных прогнозах погоды (на неделю – месяц вперед).

Для современных детализованных гидродинамических моделей они находятся за пределом предсказуемости.

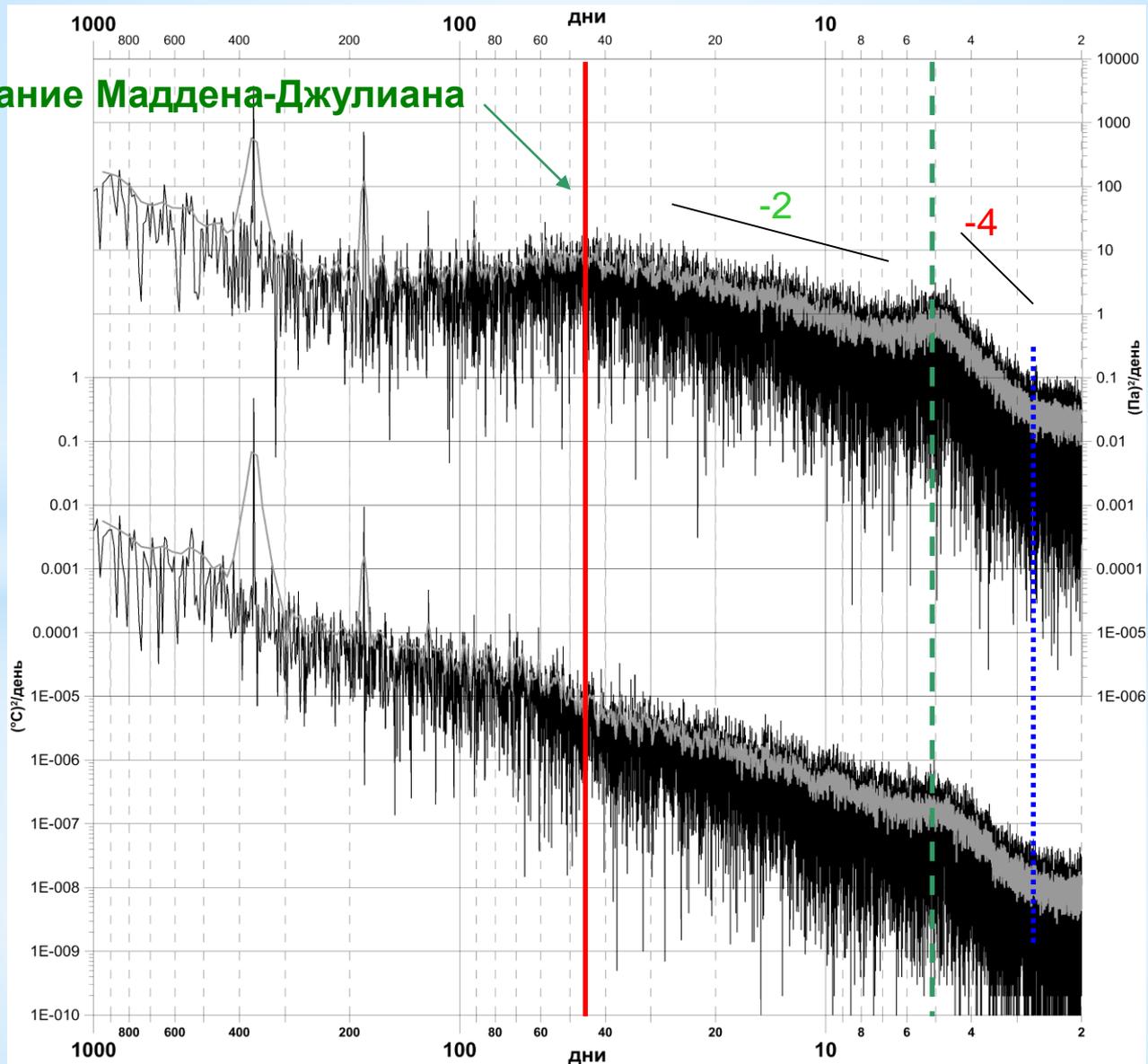
Энергетические спектры индекса Южного колебания и расширенного индекса Эль-Ниньо, показанные на следующем слайде вверху и внизу соответственно, имеют некоторые отличия:

- Вместо наклона «-3» имеет место наклон «-4» (закон Саффмена), характерный для локализации завихренности в узких полосах на краях обширных почти безвихревых областей, как у «красного пятна» на Юпитере.
- А.С. Монин и А.М. Яглом предполагали, что такое невозможно на Земле. Но это оказалось так для так называемых **Колебаний Маддена-Джулиана (КМД)**.
- На периоде 5 дней этот наклон резко переходит в наклон «-2» обратного каскада энергии в тропиках.
- Этот наклон продолжается вплоть до периода 45 дней – типичной длительности **КМД**.

КМД являются непредсказуемыми.

Энергетические спектры индекса Южного колебания (вверху) и расширенного индекса Эль-Ниньо (внизу)

Колебание Маддена-Джулиана



3. «Порядок» внутри обратного каскада энергии для внетропических широт.

Исследование на модели Э. Лоренца

В книге Д.М. Сонечкина «Стохастичность в моделях общей циркуляции атмосферы», Л.: Гидрометеиздат, 1984 было проведено полное качественное исследование динамики течения вязкой подогреваемой жидкости во вращающемся кольцевом сосуде, модель которой была предложена Э.Лоренцем в его статье E.N. Lorenz “Mechanics of vacillations”, J. Atmos. Sci., 1963, vol. 20, 448-464.

Было найдено, что при определенном контрасте температур, приложенных к «северной» и «южной» боковым стенкам канала, движение жидкости становится хаотическим. При этом траектории этого движения в фазовом пространстве модели (оно 14-мерное) не выходят за пределы 3-мерного подпространства и, в своей совокупности, не отличаются геометрически от знаменитого **«странного аттрактора Лоренца»**.

Оказалось, что редукция размерности модельного аттрактора (от 14-ти до 3-х) определяется, в основном, синхронизацией движений тех двух бароклинических волн в жидкости, которые представлены в модели.

Таким образом,

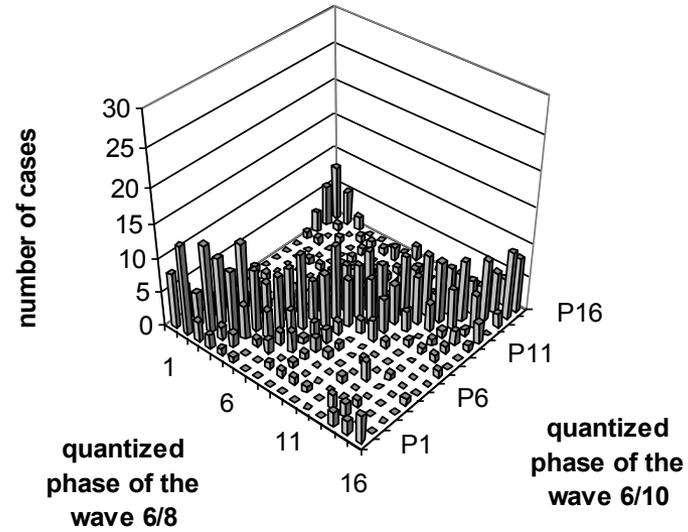
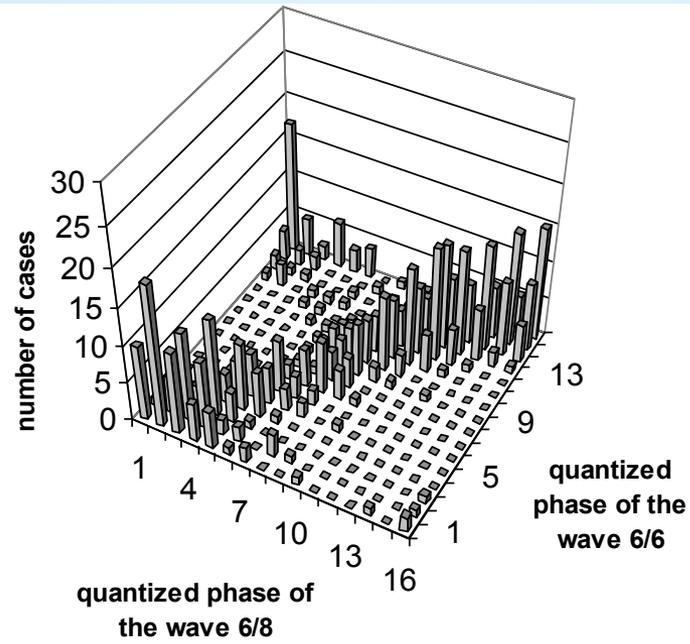
несмотря на хаос, движения в модели остаются в некоторой степени организованными.

4. Синхронизация распространения планетарных волн в реальной атмосфере

Для проверки возможного наличия подобной синхронизации планетарных волн в реальной атмосфере были проанализированы поля H500 северного полушария за длительный период времени. При этом поля H500 представлялись их разложением по сферическим гармоникам.

Оказалось, что при 5-дневном осреднении полей H500 синхронизация действительно существует. Прежде всего, она проявляет себя как синхронизация фаз планетарных волн в их западно-восточном распространении в умеренных широтах.

Два примера фазовой синхронизации для волн синоптического масштаба (зональное волновое число **6** и пары меридиональных волновых чисел **6-8** и **8-10**) показаны на следующем слайде.



Чтобы понять причины такого поведения волн, достаточно рассмотреть **баротропное уравнение вихря скорости** (в 5-дневном временном масштабе атмосфера практически баротропна) с учетом эффекта крупномасштабной топографии.

$$\frac{\partial \Delta \psi}{\partial t} + J(\psi, \Delta \psi) + J(\psi, l + h) + \sigma \Delta \psi - \mu \Delta^2 \psi = f(\varphi, \lambda)$$
$$\psi|_{t=0} = \psi_0$$

Используя метод Галеркина, т.е. разлагая поля функции тока и земной топографии по сферическим гармоникам, и переходя к эволюционным уравнениям для коэффициентов разложения, Получаем систему квадратично нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений.

Рассматривая в качестве модельных переменных **зональные потоки** (Z), **амплитуды** (A) и **фазы** (F) **волн**, приходим к следующей системе (для краткости записи члены с топографическим форсингом не выписаны).

$$\begin{aligned}
 \frac{dZ_{n1}^0}{dt} &= K_{n1,n2,n3}^{0,m2,m3} A_{n2}^{m2} A_{n3}^{m3} \sin(F_{n2}^{m2} - F_{n3}^{m3}), \\
 \frac{dA_{n1}^{m1}}{dt} &= K_{n1,n2,n3}^{m1,0,m3} Z_{n2}^0 A_{n3}^{m3} \sin(F_{n3}^{m3} - F_{n1}^{m1}) + \\
 &K_{n1,n2,n3}^{m1,m2,m3} A_{n2}^{m2} A_{n3}^{m3} \sin(F_{n2}^{m2} + F_{n3}^{m3} - F_{n1}^{m1}), \\
 \frac{dF_{n1}^{m1}}{dt} &= RH_{n1,1}^{m1,0} + K_{n1,n2}^{m1,0} Z_{n2}^0 + \\
 &K_{n1,n2,n3}^{m1,0,m3} \frac{Z_{n2}^0 A_{n3}^{m3}}{A_{n1}^{m1}} \cos(F_{n3}^{m3} - F_{n1}^{m1}) + \\
 &K_{n1,n2,n3}^{m1,m2,m3} \frac{A_{n2}^{m2} A_{n3}^{m3}}{A_{n1}^{m1}} \cos(F_{n2}^{m2} + F_{n3}^{m3} - F_{n1}^{m1}).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Величины K представляют собой коэффициенты нелинейных взаимодействий зонального потока и двух волн или трех волн друг с другом.

В этих уравнениях порядок величины члена Россби-Гаурвица

$$\Delta RH_{n2,n3}^{m2,m3} = RH_{n2,1}^{m2,0} - RH_{n3,1}^{m3,0} =$$
$$2(1+Z_1^0) \left(\frac{m3}{n3(n3+1)} - \frac{m2}{n2(n2+1)} \right) = 2(1+Z_1^0)(f3 - f2)$$

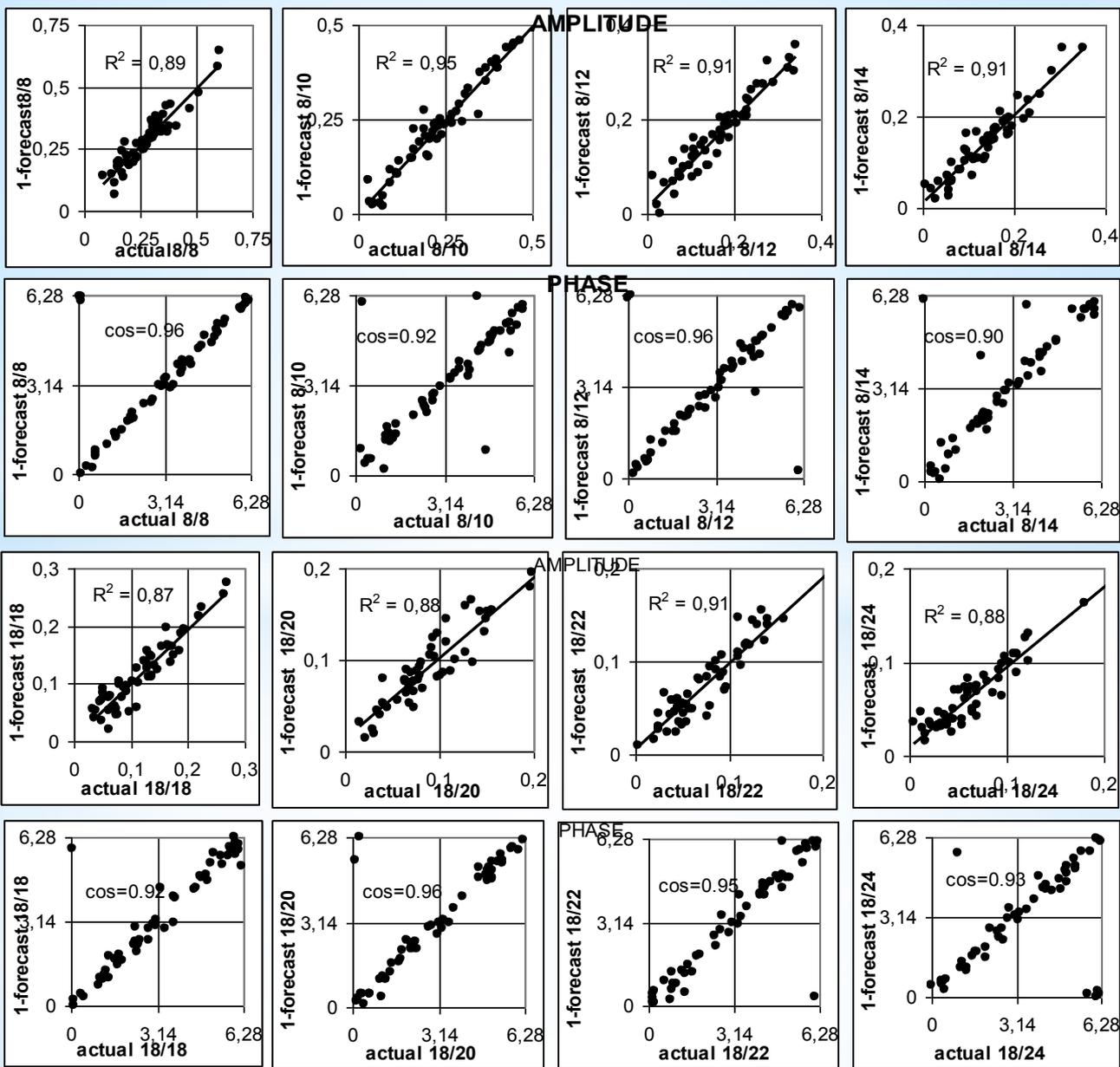
равен единице, в то время как все другие члены на порядок меньше. Мерой порядка служит величина $Z(0,1)$ индекса зональной циркуляции, введенного Е.Н. Блиновой. Этот индекс есть ни что иное, как скорость западно-восточного переноса в умеренных широтах на среднем уровне тропосферы (500 гПа). Типичная его величина равна **0.2 – 0.3**.

Величины $f_2 = \frac{m2}{n2(n2+1)}$ и $f_3 = \frac{m3}{n3(n3+1)}$ являются рациональными дробями, соизмеримыми друг с другом.

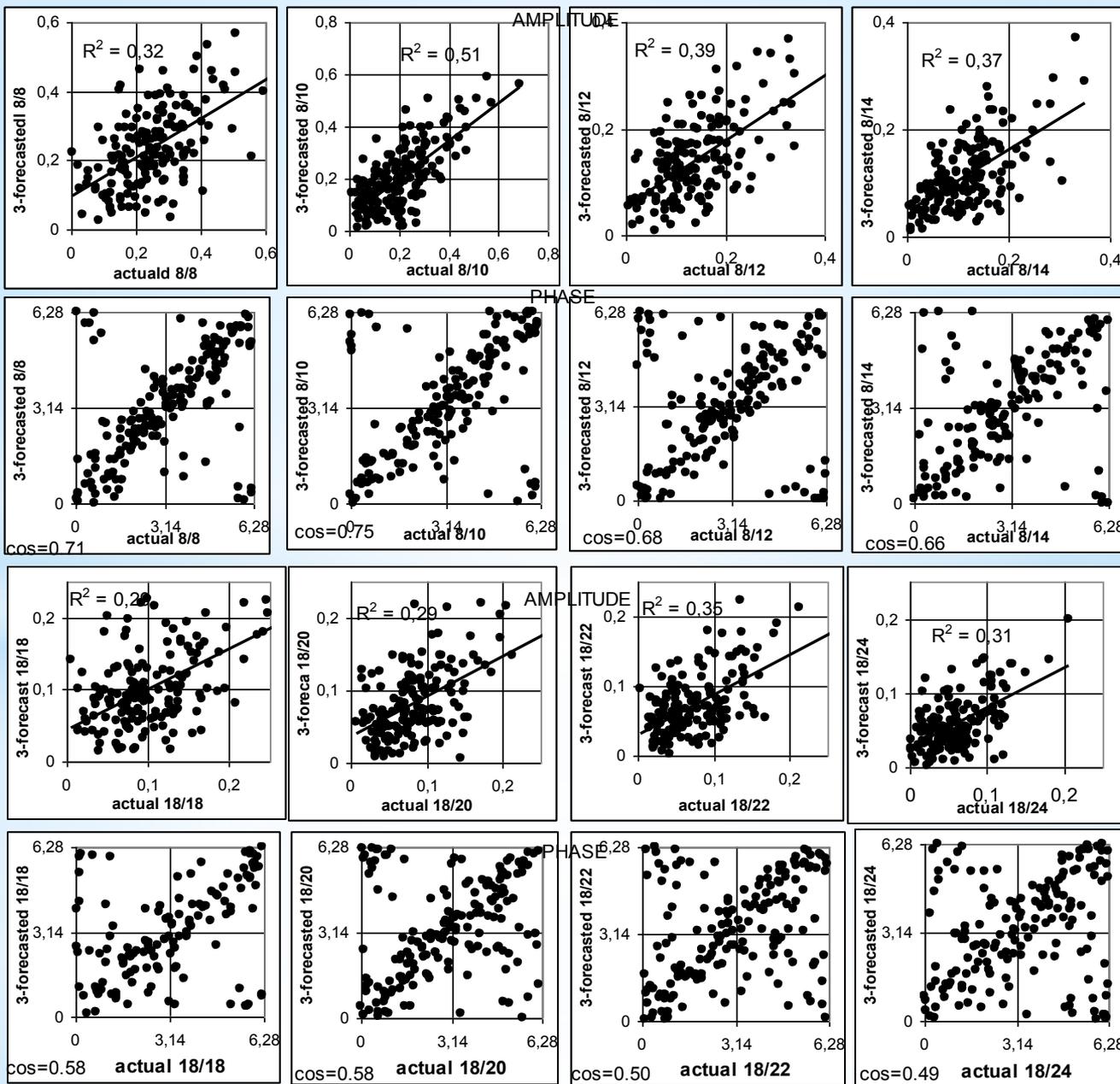
Поэтому все волны с одинаковыми зональными волновыми числами ($m2=m3$) перемещаются в зональном потоке с пропорциональными скоростями, если рассматривать их движение в «медленном времени», которое определяется обратной величиной индекса Блиновой. Единица этого времени равна 30–50 дням.

Это и влечет синхронизацию движений этих волн.

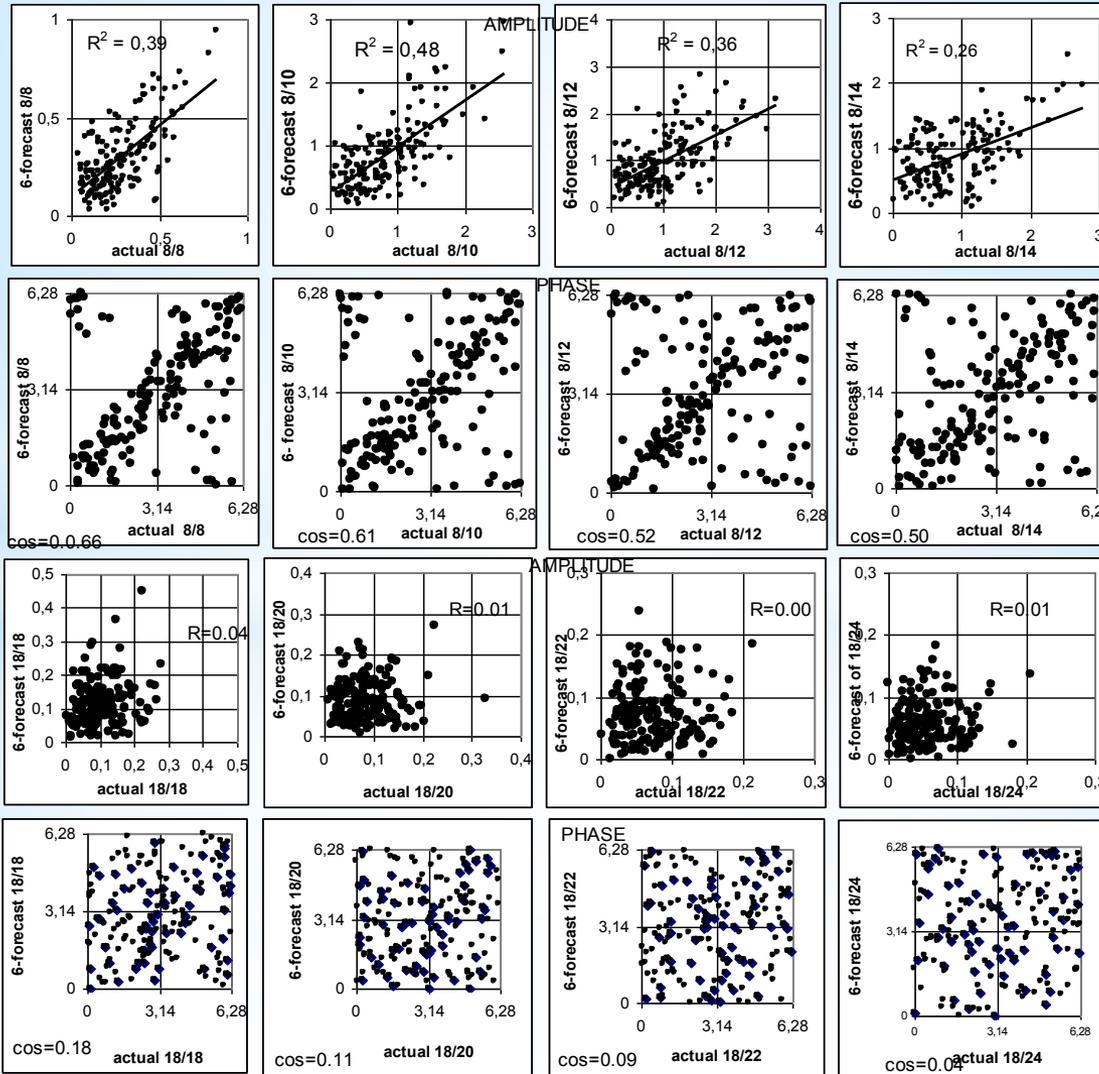
Пример синхронизации амплитуд волн :



Пример синхронизации фаз волн:



При прогнозе на средние сроки эти синхронизации разрушаются.
Особенно быстро теряется синхронизация фаз.
(пример 6-дневных прогнозов по модели ЕЦСПП)



Чтобы избежать десинхронизации, можно принудительно обнулить все члены уравнений вышеприведенной прогностической модели с синусом нулевой разности фаз, а во всех членах с косинусом нулевой разности фаз положить этот косинус равным единице. В результате получается система уравнений, решения которых менее осцилляторны, а потому более предсказуемы:

$$\begin{aligned}
 \frac{dZ_{n1}^0}{dt} &= K_{n1,n2,n3}^{0,m2,m3} A_{n2}^{m2} H A_{n3}^{m3} \sin\left(F_{n2}^{m2} - H F_{n3}^{m3}\right) - \nu\left(Z_{n1}^0 - \bar{Z}_{n1}^0\right), \\
 \frac{dA_{n1}^{m1}}{dt} &= K_{n1,n2,n3}^{m1,0,m3} Z_{n2}^0 H A_{n3}^{m3} \sin\left(F_{n1}^{m1} - H F_{n3}^{m3}\right) + \\
 &K_{n1,n2,n3}^{m1,m2,m3} A_{n2}^{m2} H A_{n3}^{m3} \sin\left(F_{n2}^{m2} + H F_{n3}^{m3} - F_{n1}^{m1}\right) - \nu\left(A_{n1}^{m1} - \bar{A}_{n1}^{m1}\right), \\
 \frac{dF_{n1}^{m1}}{dt} &= R H_{n1,1}^{m1,0} + K_{n1,n2}^{m1,0} Z_{n2}^0 + K_{n1,n2,n3}^{m1,0,m1} \frac{\left(Z_{n2}^0 + H Z_{n2}^0\right) A_{n3}^{m1}}{A_{n1}^{m1}} + \\
 &K_{n1,n2,n3}^{m1,0,m3} \frac{Z_{n2}^0 H A_{n3}^{m3}}{A_{n1}^{m1}} \cos\left(H F_{n3}^{m3} - F_{n1}^{m1}\right) + \\
 &K_{n1,n2,n3}^{m1,m2,m3} \frac{A_{n2}^{m2} A_{n3}^{m3}}{A_{n1}^{m1}} \cos\left(F_{n2}^{m2} + F_{n3}^{m3} - F_{n1}^{m1}\right) + \\
 &K_{n1,n2,n3}^{m1,m2,m3} \frac{A_{n2}^{m2} H A_{n3}^{m3}}{A_{n1}^{m1}} \cos\left(F_{n2}^{m2} + H F_{n3}^{m3} - F_{n1}^{m1}\right).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Так фильтрованная система уравнений интегрируется в Гидрометцентре России с середины 1990-х годов в реальном масштабе времени на 40 дней вперед. Выходным продуктом этих интегрирований являются

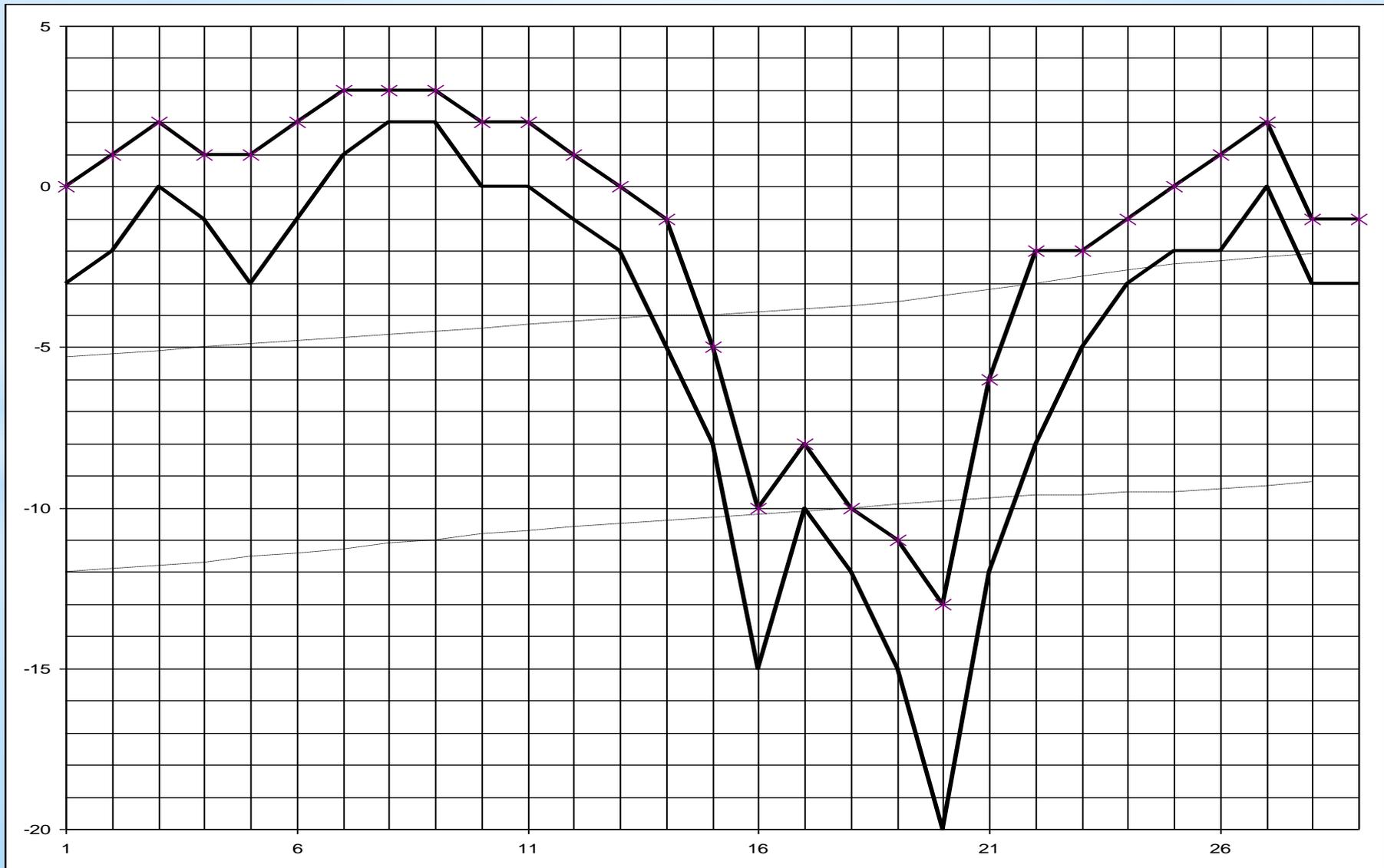
средние поля N500 для восьми последовательных пятидневок.

Эти поля используются для предсказания хода приземной температуры воздуха в Москве на месяц вперед с помощью подбора их аналогов из архива последних 20 лет.

Пример прогноза на январь 2016 года:



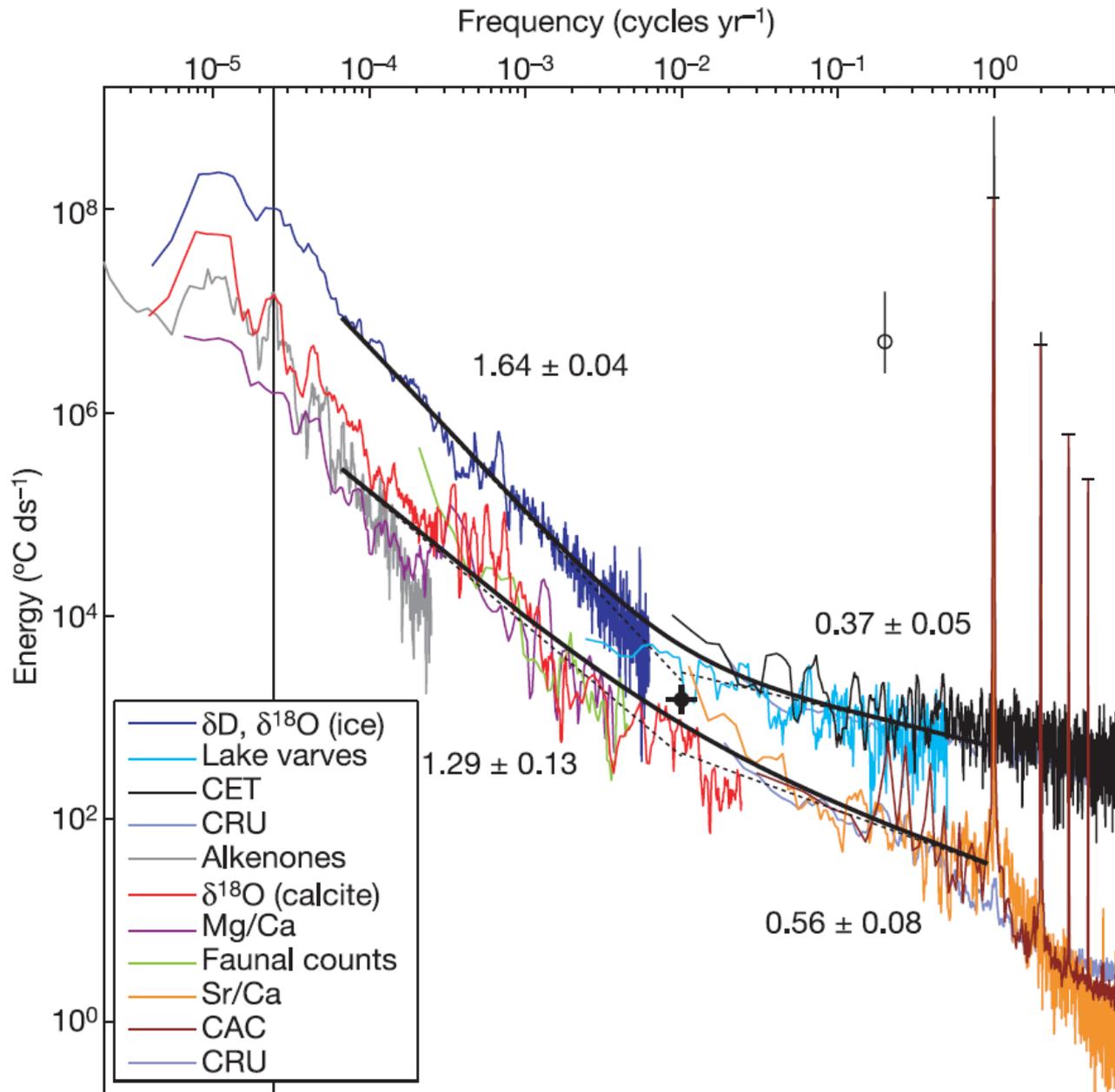
Прогноз на февраль 2016 для Москвы



ВЫВОДЫ по Части 1

1. Междусуточные изменения погоды являются хаотическими, и современные прогностические гидротермодинамические модели, по-видимому, почти достигли предела своей предсказуемости.
2. Изменения погоды в масштабах от примерно недели до примерно месяца представляют собой смесь хаотических (непредсказуемых) и внутренне упорядоченных (потенциально предсказуемых) движений.
3. Модели, предназначенные для преодоления современного недельного предела предсказуемости, должны быть фильтрованными. В них надо учитывать только внутренне упорядоченные компоненты погодных изменений. Квазисинхронная прогностическая модель является прообразом подобных моделей.

**Вариаций погоды (климата?)
в диапазоне временных масштабов
от примерно месяца до года**



Huybers & Curry,
Nature, 2006

Часть показанного спектра, соответствующая периодам менее года, но более месяца, т.е. **сезонным вариациям**, выглядит качественно отличной от еще более высокочастотной части спектра, соответствующей **вариациям погоды**. Основание этой части выглядит непрерывным. Следовательно, эти **сезонные вариации должны быть хаотическими**. Однако, как было видно на ранее показанных спектрах, на это основание наложены пики на периодах супергармоник годового периода. Особенно велики пики на четных супергармониках 1:2 и 1:4.

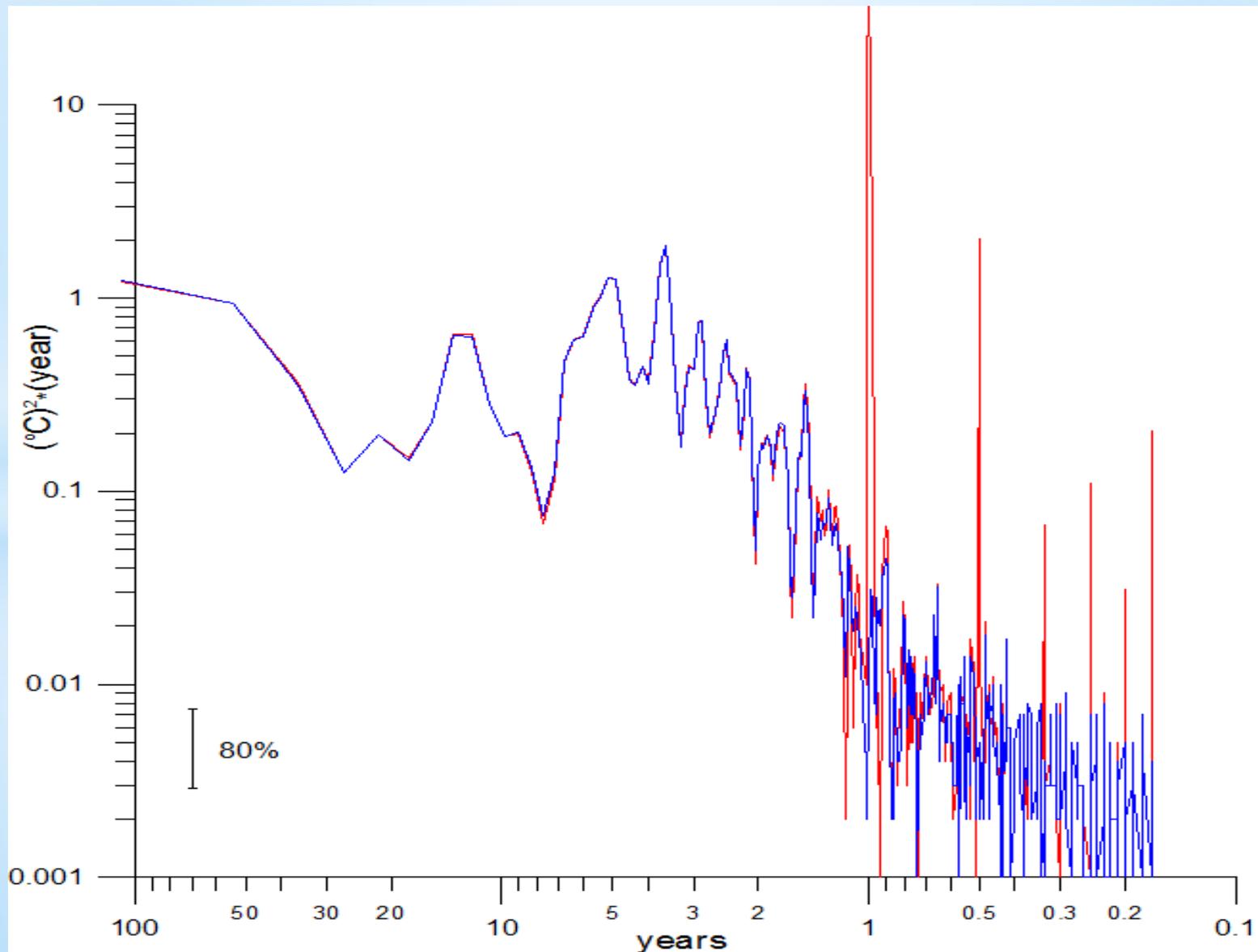
Чтобы объяснить происхождение этих пиков, обратим внимание на спектр инсоляции, показанный коричневым внизу на слайде Хайберса и Карри. Из него следует, что супергармонические пики могут быть объяснены как **результат прямого отклика атмосферы на инсоляционный форсинг**. Но эксперименты с простыми атмосферными моделями, в которых инсоляционный форсинг задан в виде простой годовой синусоиды, показали, что пики на супергармониках частично могут быть **следствием разрешения неустойчивости** в отклике атмосферы на годовой ход притока тепла к атмосфере.

Исследование этой возможности важно для усовершенствования методов численных сезонных прогнозов погоды.

Особенно четко видны пики в спектрах, описывающих сезонные атмосферные процессы внутри тропиков. На следующем слайде дан пример такого спектра для индекса **Niño3+Niño3.4**.

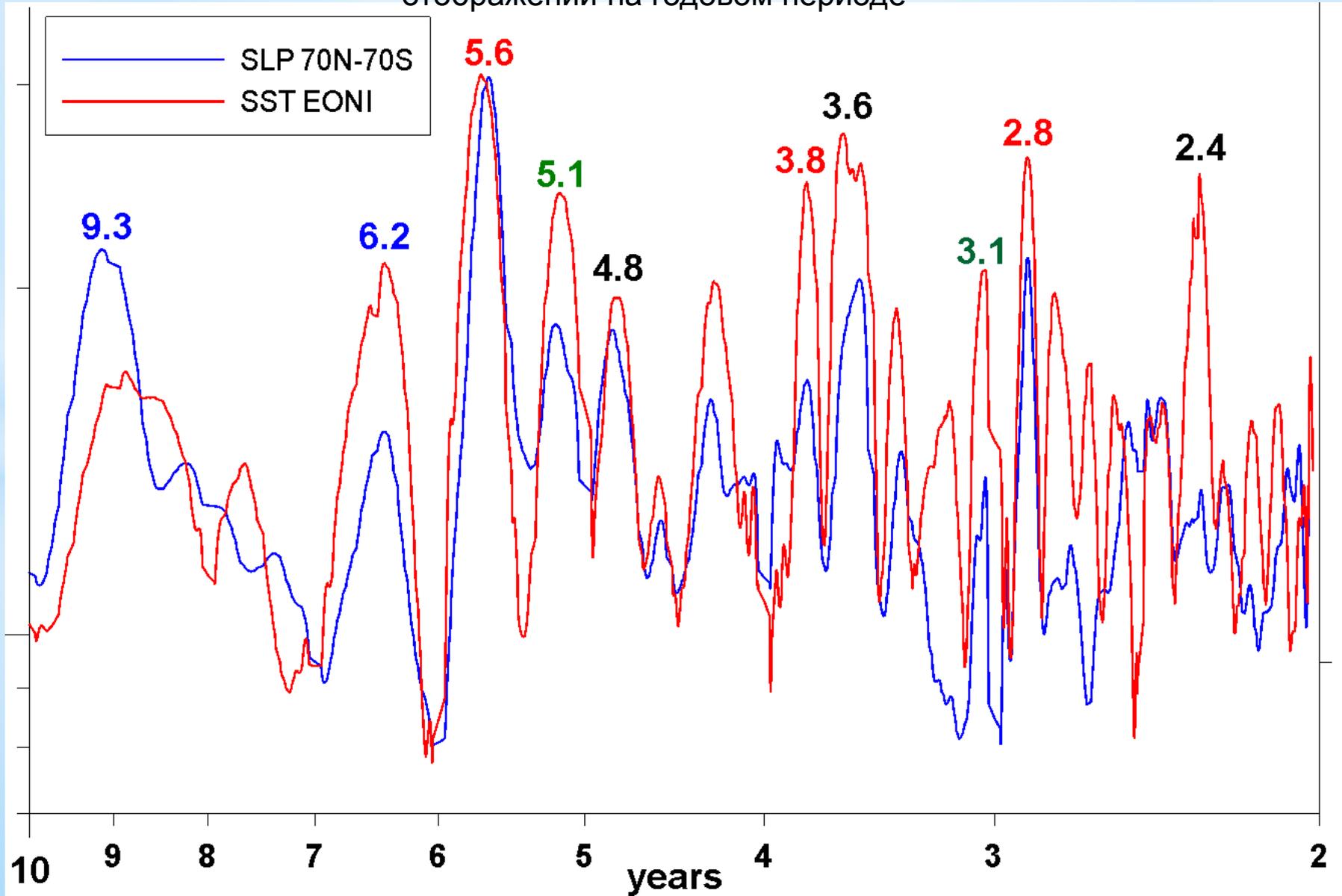
Спектр индекса **Niño3+Niño3.4**.

Красным показан спектр, посчитанный по среднемесячным данным, а синим – этот же спектр после исключения вариаций с периодами год и менее.



**НЕХАОТИЧЕСКИЕ ВАРИАЦИИ КЛИМАТА
В МАСШТАБАХ ОТ ГОДА ДО
ОДНОГО – ДВУХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ**

Средний спектр приземного давления, подсчитанный по среднемесячным данным для всех узлов сетки 5 x 5 от 70 с.ш. до 70 ю.ш., и средний спектр температуры водной поверхности в приэкваториальной полосе Тихого океана. Оба спектра подсчитаны для отображений на годовом периоде



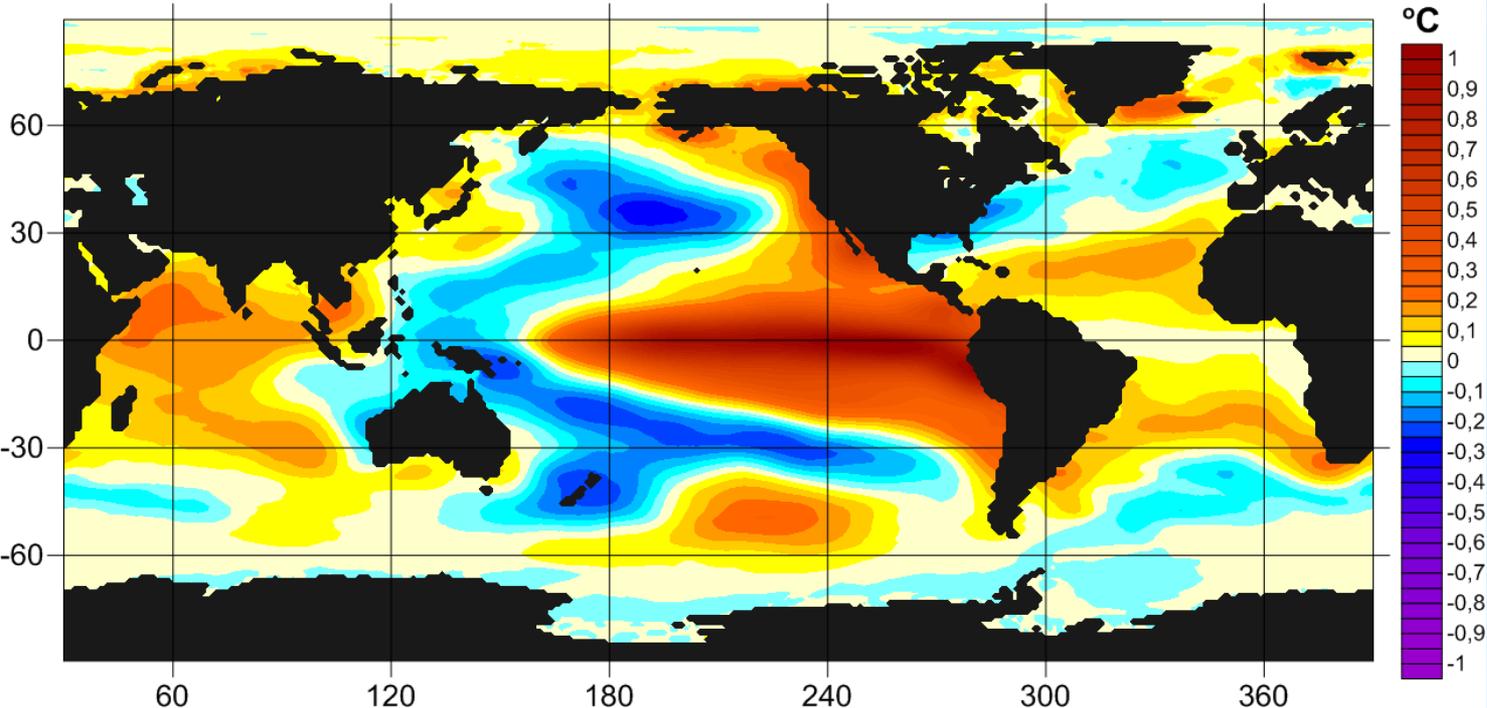
На последнем показанном слайде было видно, что спектр междугодовых вариаций является **негладким**. Во многих публикациях констатировалось, что основные **полосы повышенной спектральной плотности в спектрах ЭНЮК являются статистически значимыми**. Здесь видно, что эта особенность присуща также осредненному по большей части земной поверхности спектру приземного давления.

Имея в виду нижеследующее рассмотрение, важно подчеркнуть, что статистически значимые локальные увеличения спектральной плотности не являются дельта-пиками, а **представляют собой полосы конечной ширины**. Это доказывается тем, что при увеличении спектрального разрешения эти локальные увеличения спектральной плотности распадаются на более тонкие полосы.

Прежде чем исследовать, за счет чего возникают найденные глобально распространенными полосы повышенной спектральной плотности, обратимся к новому недавно опубликованному (Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011, т. 8, № 4, 200-208; Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. Доклады АН, 2012, т. 446, № 1. 89-94) рассмотрению процессов Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) как составной части всей совокупности глобальных атмосферных процессов, названной

Глобальной атмосферной осцилляцией.

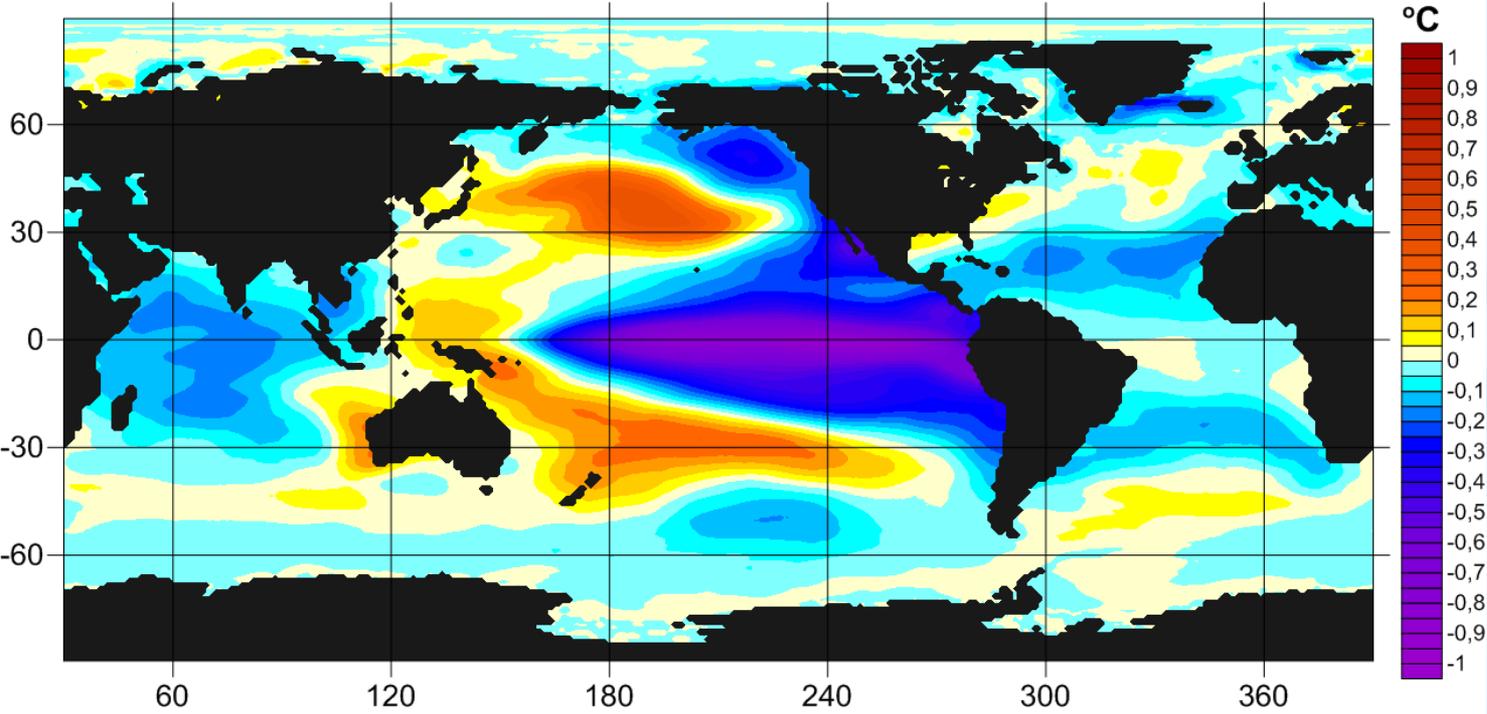
На следующем слайде показаны карты распределения среднемесячных температур поверхности океанов, типичные для событий Эль-Ниньо (вверху) и Ла-Нинья (внизу).



El Niño

Average SST anomalies for 35 El Niño (SST > 0.5°C)

Duration of the anomalies must be longer than 5 months.



La Niña

Average SST anomalies for 32 La Niña (SST < -0.5°C)

Data from COBE SST for 1891-2014

На слайде видно, что поля температуры при Эль-Ниньо и при Ла-Нинья резко различаются не только в приэкваториальной полосе Тихого океана, но и во многих других районах этого океана и даже во многих районах Индийского и Атлантического океанов.

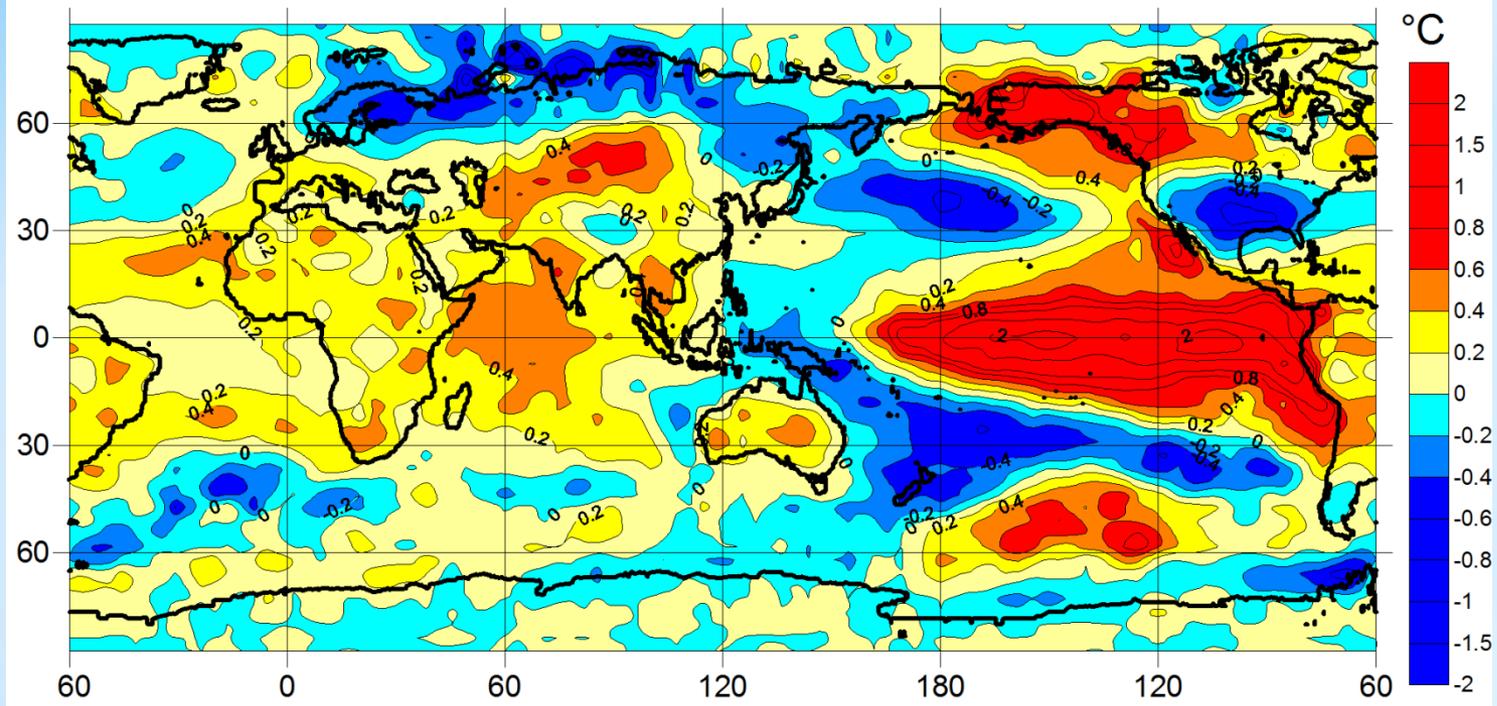
Таким образом,

кажется, что различие между полями температуры водной поверхности, соответствующими Эль-Ниньо и Ла-Нинья, является глобальным.

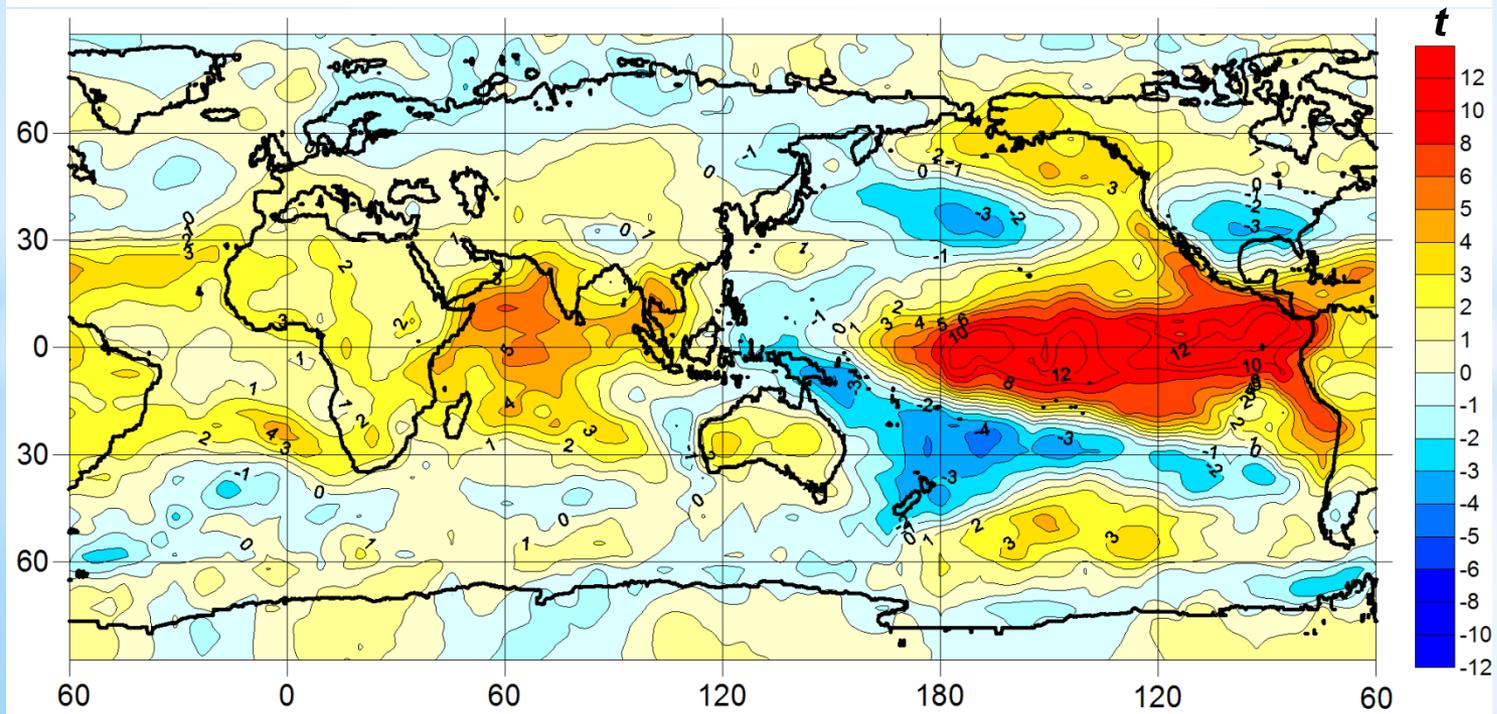
Карта этого глобального различия показана на следующем слайде (вверху).

Хотя количество эпизодов Эль-Ниньо и Ла-Нинья, использованных для построения вышепоказанных карт, было очень невелико, применение к каждой точке карты различий статистического *t-теста Стьюдента* показало, что различие значимо на уровне, достигающем во многих районах 99%.

Карта всех значений *t-теста Стьюдента* показана на следующем слайде снизу.



Amplitude of the near-surface temperature (23 events of El Niño versus 25 events of La Niña) averaged for 1920-2012.



Student test of amplitude of the near-surface temperature (23 events of El Niño versus 25 events of La Niña) averaged for 1920-2012.

Data from HadCRUTEM4

Strange nonchaotic attractor in the quasiperiodic forced dynamical systems. What is it?

The mathematical notion of SNA has been introduced (*Grebogy et.al., Physica D, 1984*) to catch well aperiodic variations excited in those nonlinear dynamical systems which are forced at **two** or **more** reciprocally **incommensurate** frequencies.

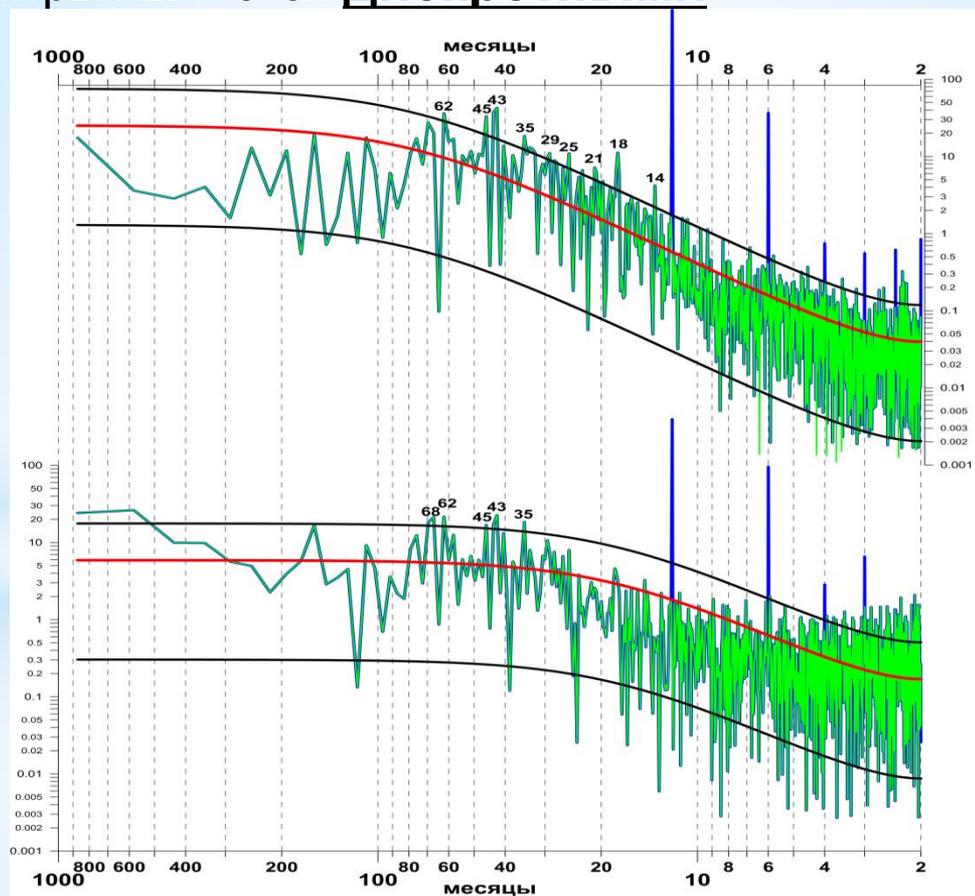
SNA is most sharply seen if the twin **ratios** of the force frequencies are "worst" **irrational numbers** like the root **$X=1.8393\dots$**

of the cubic equation $X^3 - X^2 - X - 1 = 0$, or some functions of this root like $X - 1 = \mathbf{0.8393\dots}$, $1/(X - 1) = \mathbf{1.1914\dots}$ etc. (*Kim, Ostlund, 1985; Hao et.al., 1987*).

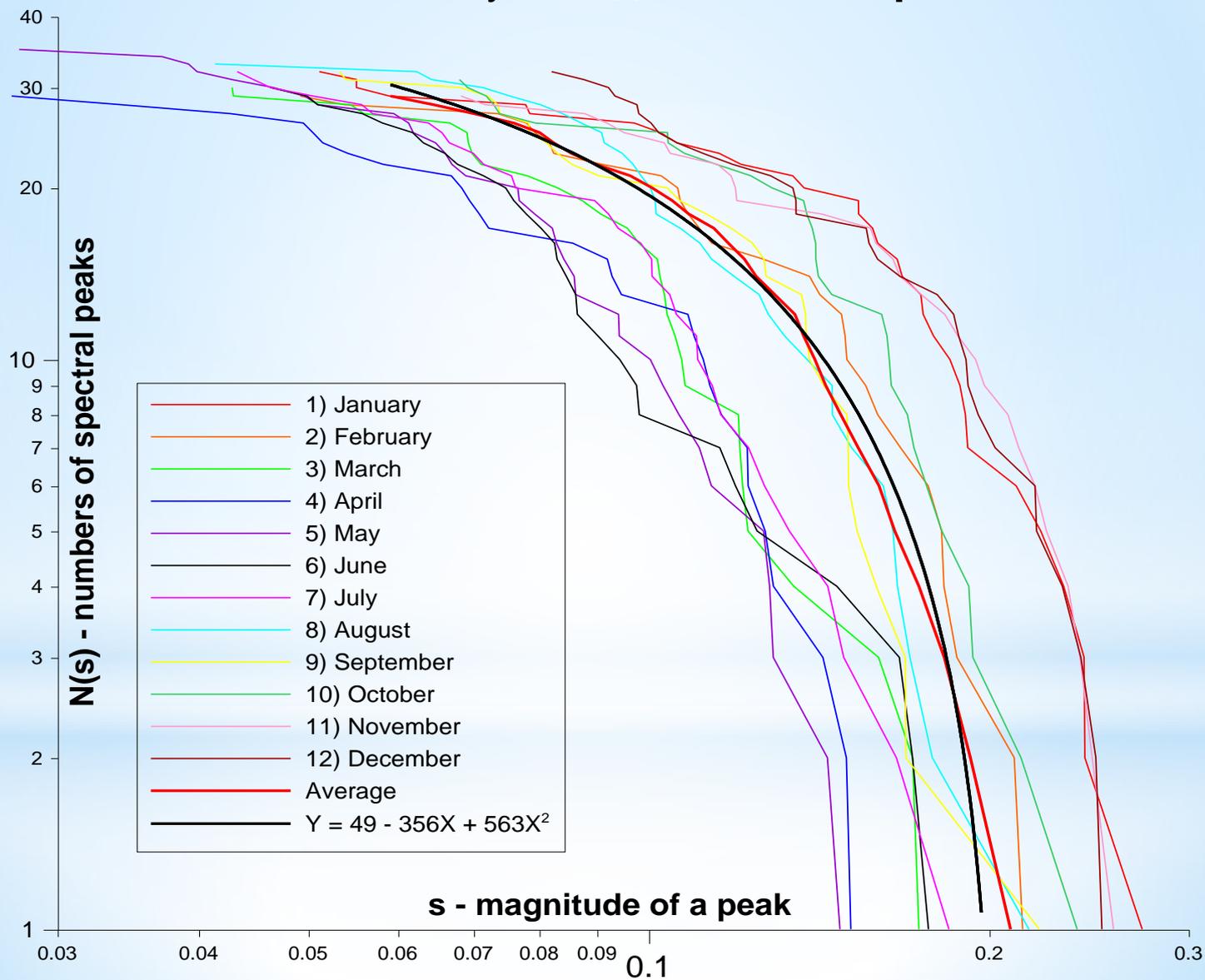
By the way, the ratio of the annual period to the Chandler wobble one is exactly $(365.25) : (435.??) = 0.8393\dots$

Such quasi-periodicities prompt the system to be forced at "**wrong moments**", and thereby prevent the system behavior to become chaotic. Instead of chaos, the system reveals **variations at the force frequencies themselves and a huge number of their combinational harmonics** even if the magnitudes of the forces are quite small.

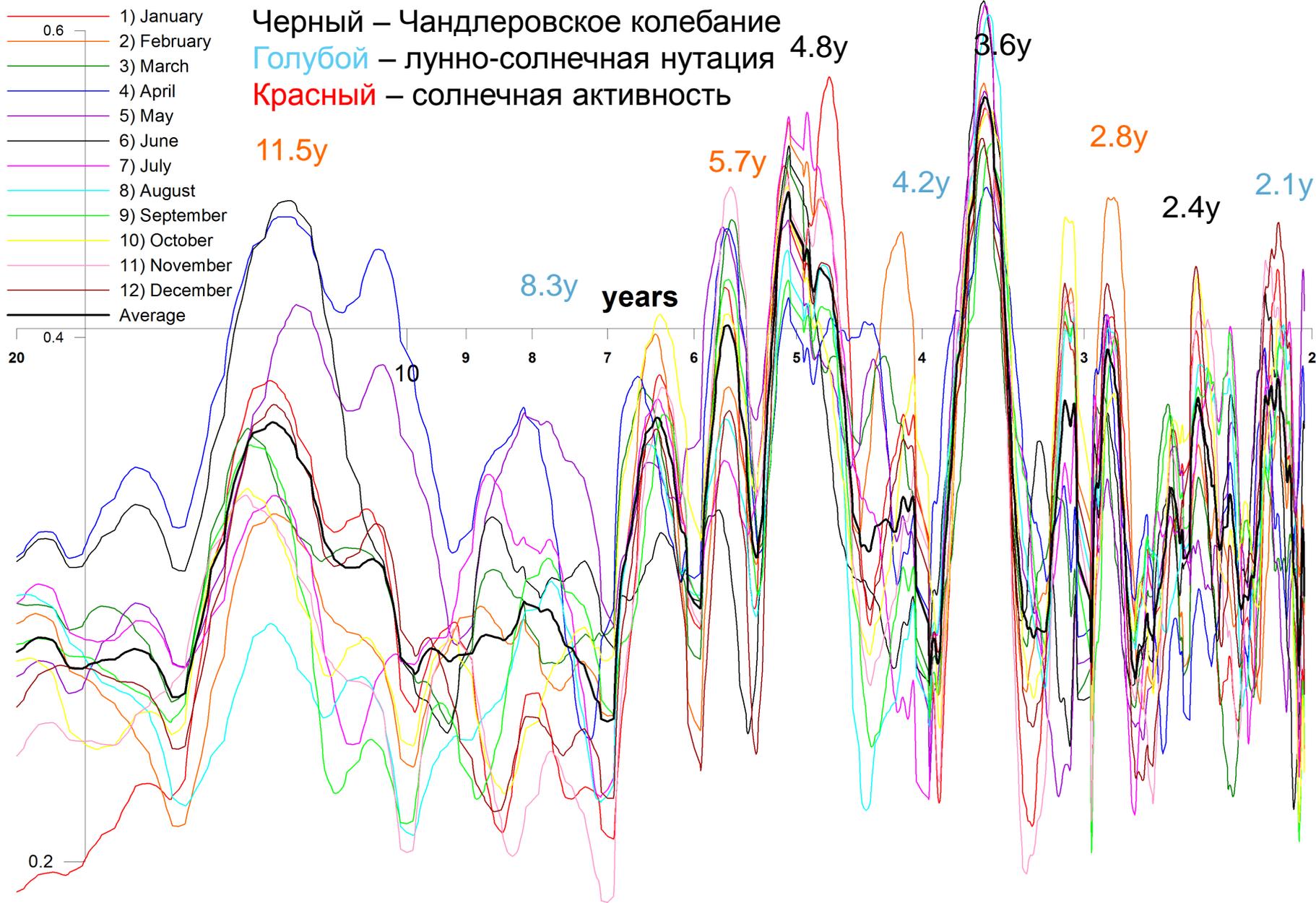
Важным отличием **странной нехаотической динамики (СНА)** от **странной хаотической динамики (СХА)** является **дискретность** энергетического спектра **СНА**. Это отличие хорошо видно на спектрах расширенного индекса Эль-Ниньо и индекса Южного колебания, показанных ниже. На спектры наложены кривые **95% и 5% квантилей**, которые получаются, если бы спектр был генерирован **красным шумом**. Видно, что не только главные максимумы, но и главные минимумы спектральной плотности выходят за пределы этих квантилей. Значит показанные спектры являются **ДИСКРЕТНЫМИ**.



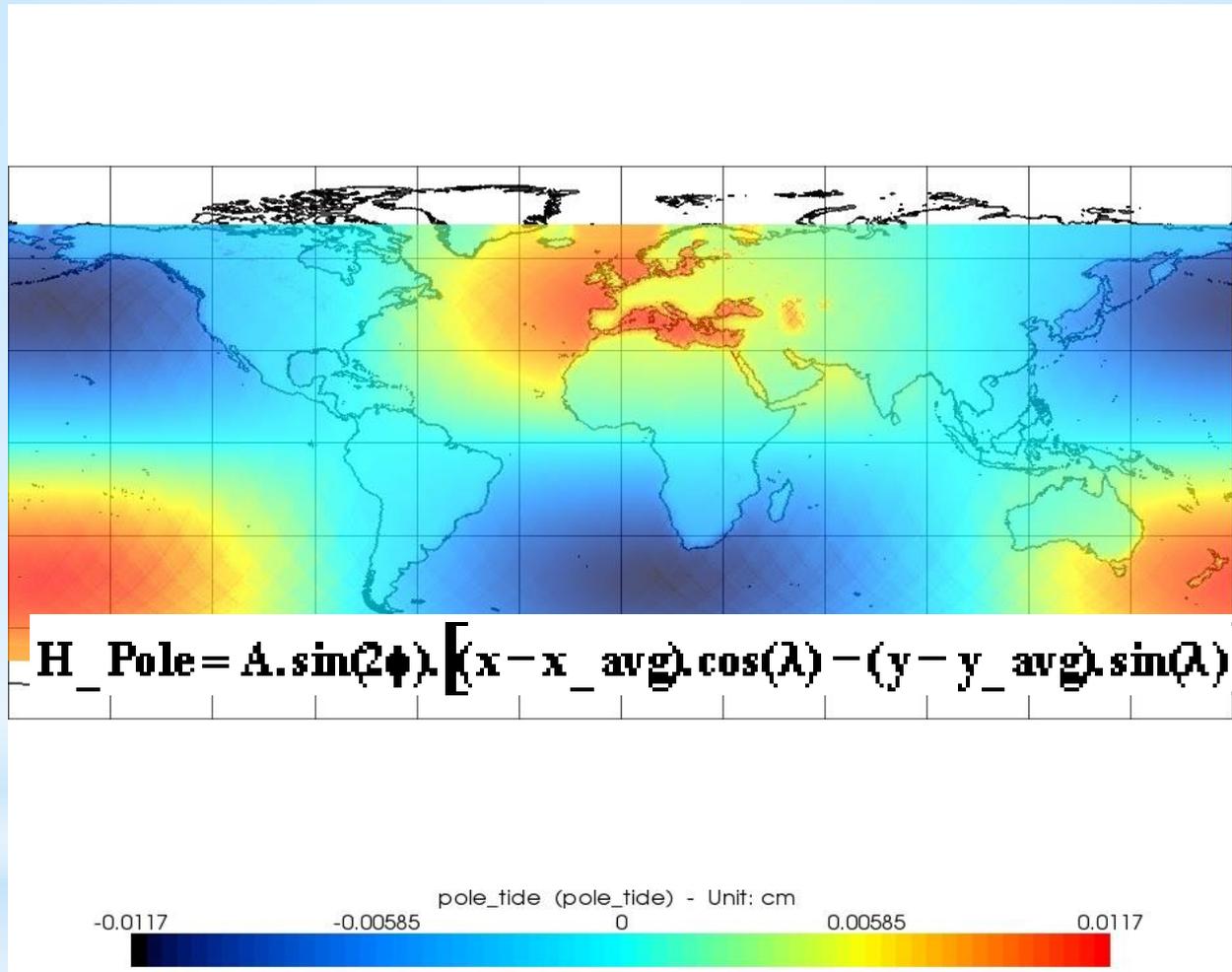
Другим отличием **СНА**-динамики от **СХА**-динамики является характер зависимости числа спектральных пиков от их амплитуды. У **СХА**-динамики эта зависимость является линейной, а у **СНА**-динамики – **параболической**.



**Какие периодические внешние силы
определяют положение пиков в
спектрах ЭНЮК и ГАО?**



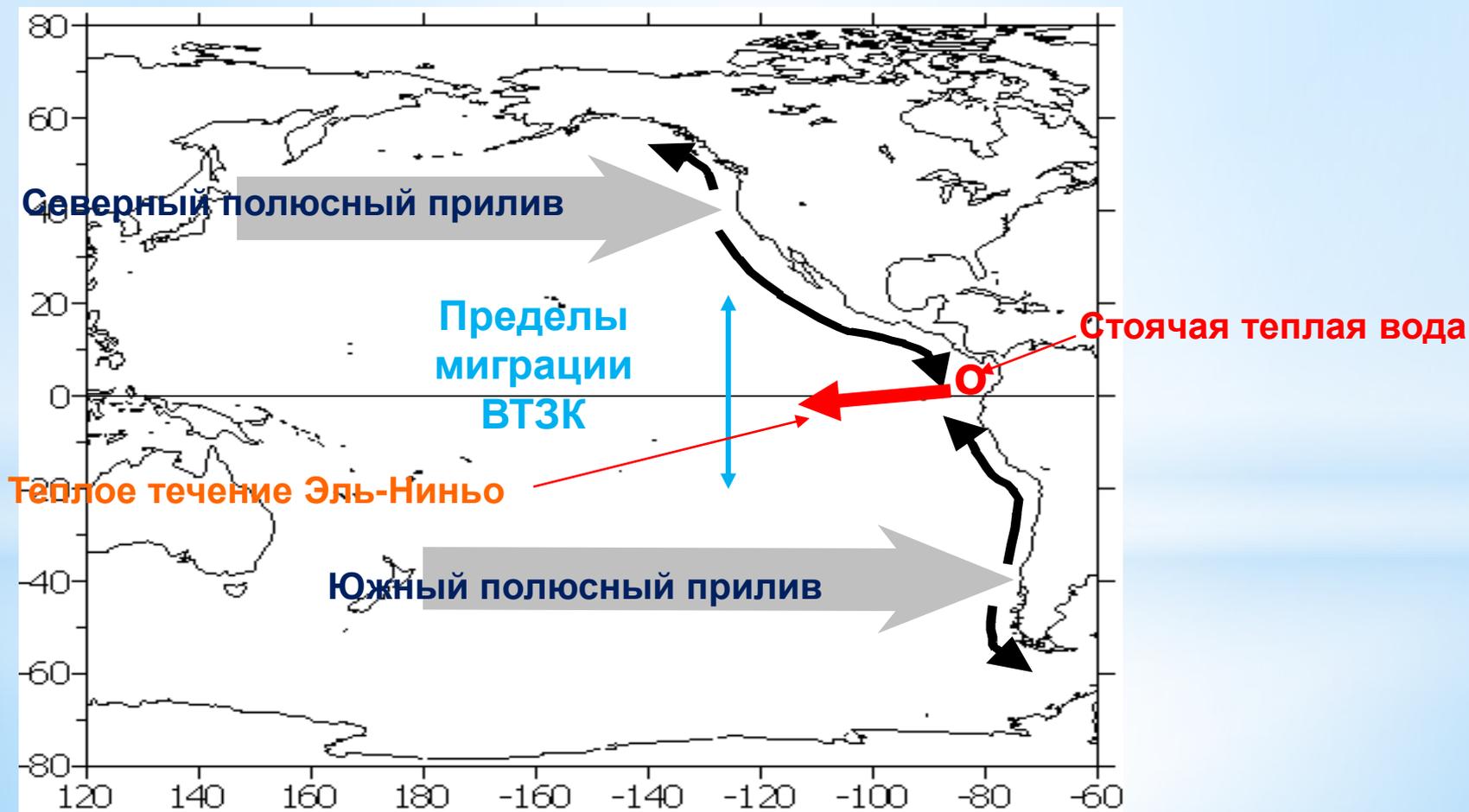
Теоретическое поле полюсного прилива, возбуждаемого в океане Чандлеровским колебанием полюсов Земли



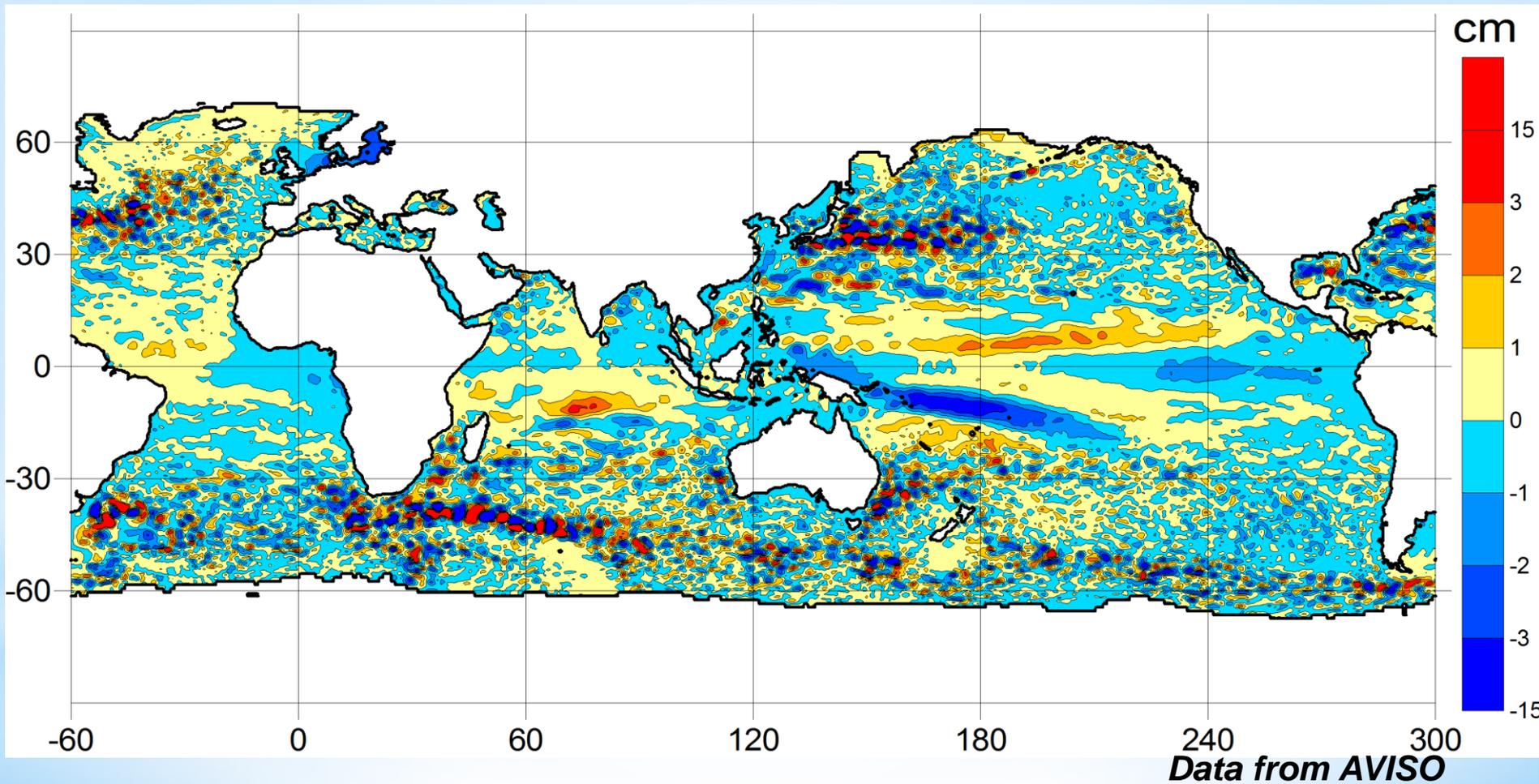
Desai S. D., Observing the pole tide with satellite altimetry , *J. Geophys. Res.*, 107(C11), 3186, doi:10.1029/2001JC001224, 2002.

Wahr J. M., Deformation induced by polar motion, *J. Geophys. Res.*, 90(B11): 9363 - 9368, 1985.

Возможное объяснение того, как северный полюсный прилив в Тихом океане может возбуждать теплое течение Эль-Ниньо

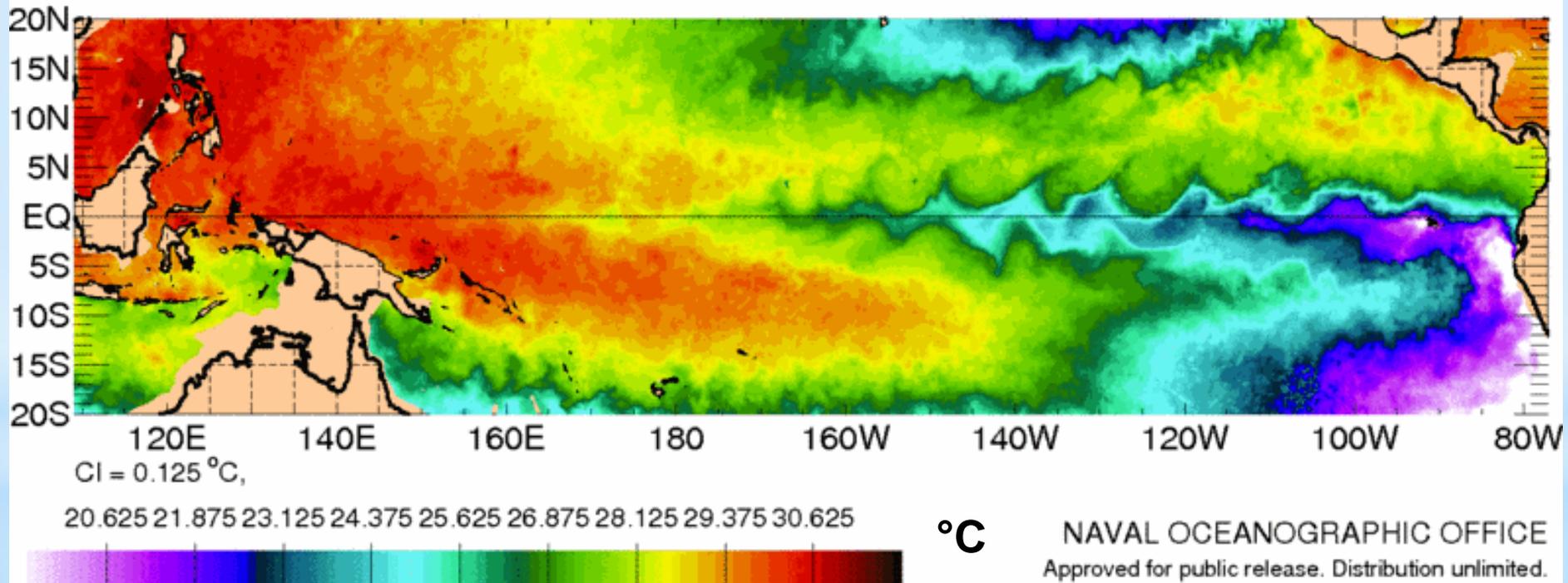


Динамика возвышений водной поверхности на 14-месячном периоде океанического полюсного прилива



Sea Surface Temperature (SST) dynamics in the Tropical Pacific

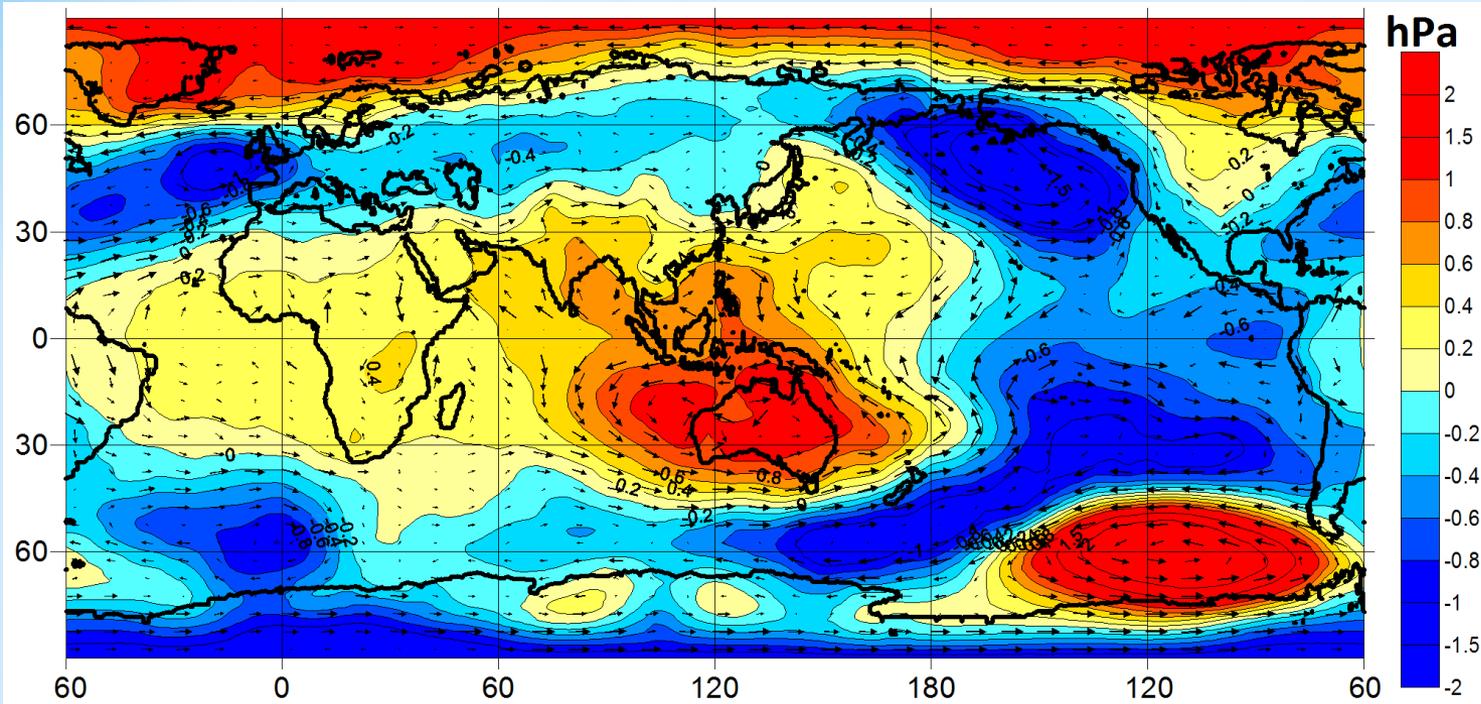
UNCLASSIFIED: 1/32° Global NLOM
SST ANALYSIS: 20100701



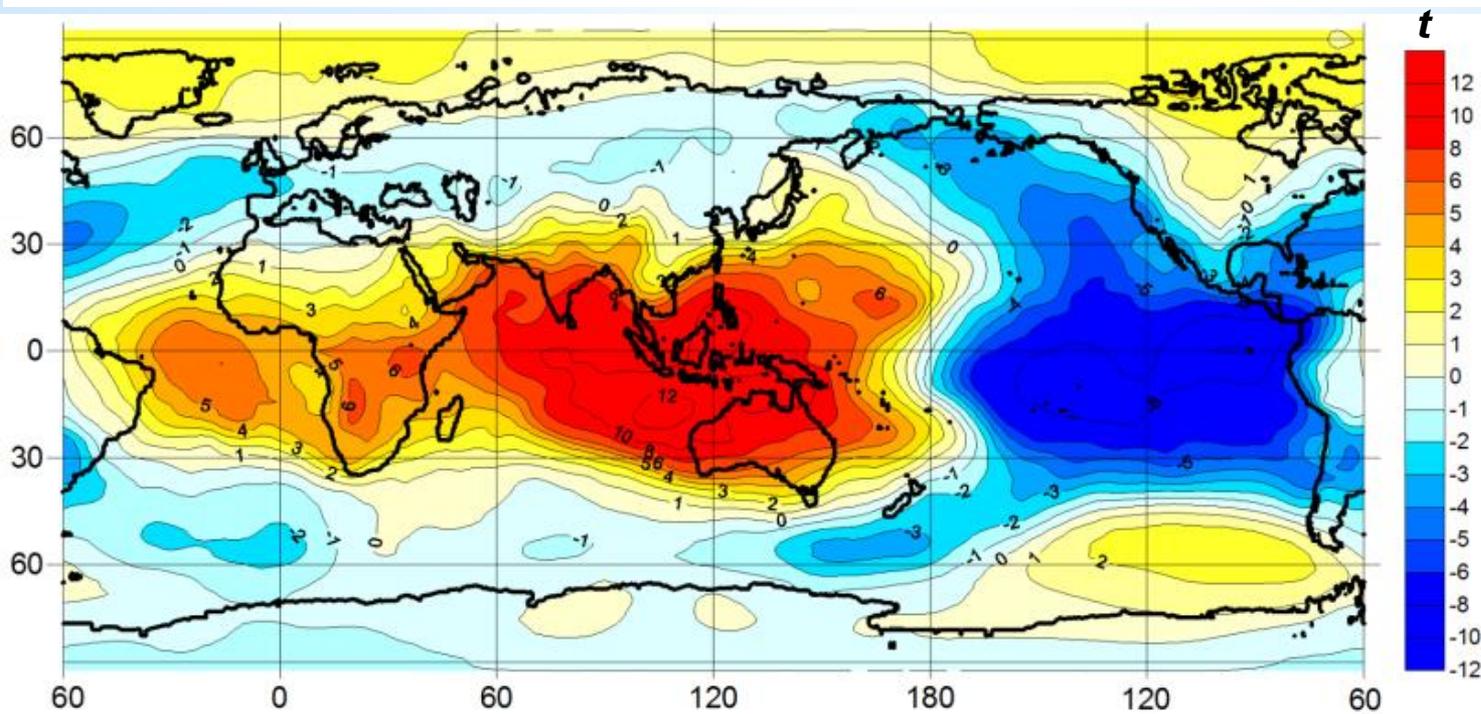
Data from http://www7320.nrlssc.navy.mil/global_nlom/

Глобальная атмосферная осцилляция

Снова рассмотрим среднее глобальное поле разности между событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья, но уже для приземного давления, и оценим его статистическую значимость с помощью t -теста Стьюдента.



Amplitude of the sea-level atmospheric pressure and appropriated geostrophic wind (23 events of El Niño versus 25 events of La Niña) averaged for 1920-2012.



GAO

t-Student test of amplitude of the sea-level atmospheric pressure (23 events of El Niño versus 25 events of La Niña) averaged for 1920-2012.

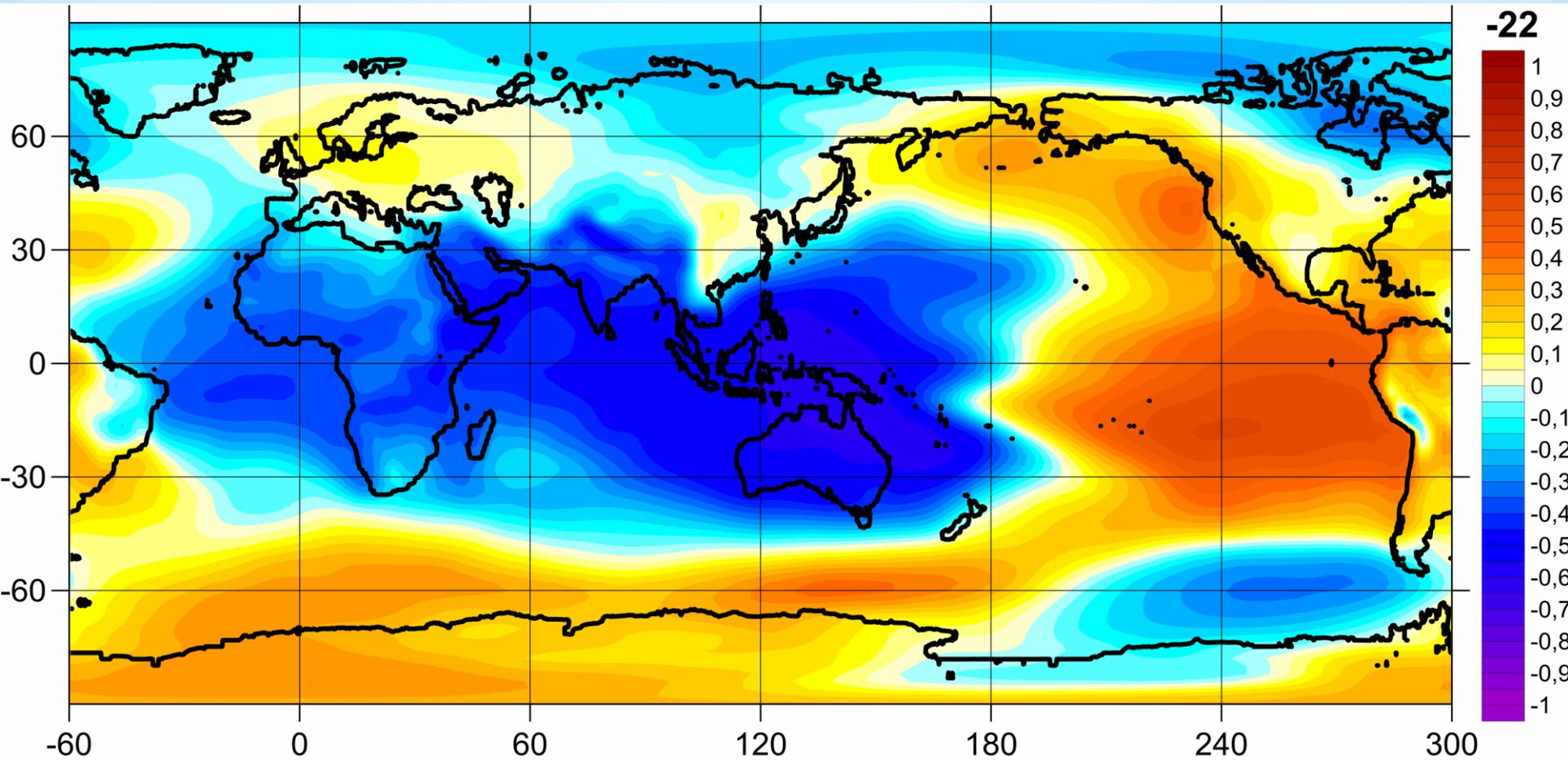
Чтобы удостовериться, что динамика **ГАО** определяется атмосферным полюсным приливом (чандлеровским колебанием полюсов) посмотрим за изменениями в течение 42-х месяцев (**3-х периодов Чандлера**) корреляций между индексом Эль-Ниньо (**Niño 3.4 + Niño 3 + Niño 2**) и аномалиями приземного давления во всех узлах регулярной сетки 5 x 5, покрывающей всю Землю.

Для расчета корреляций используем период **1871-2012**.

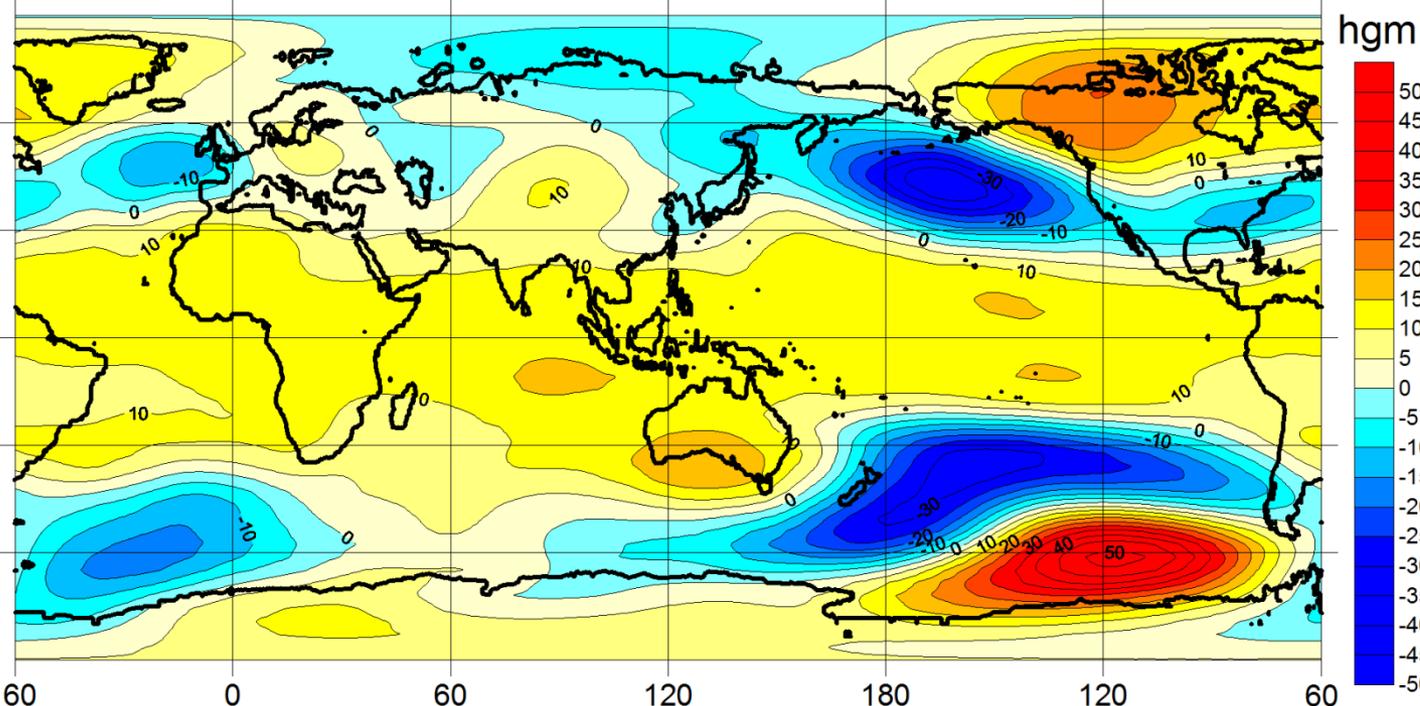
Будет видно, что все особенности этих корреляций распространяются с запада на восток, исключая приполярные области.

Динамика ГАО

Lag in months

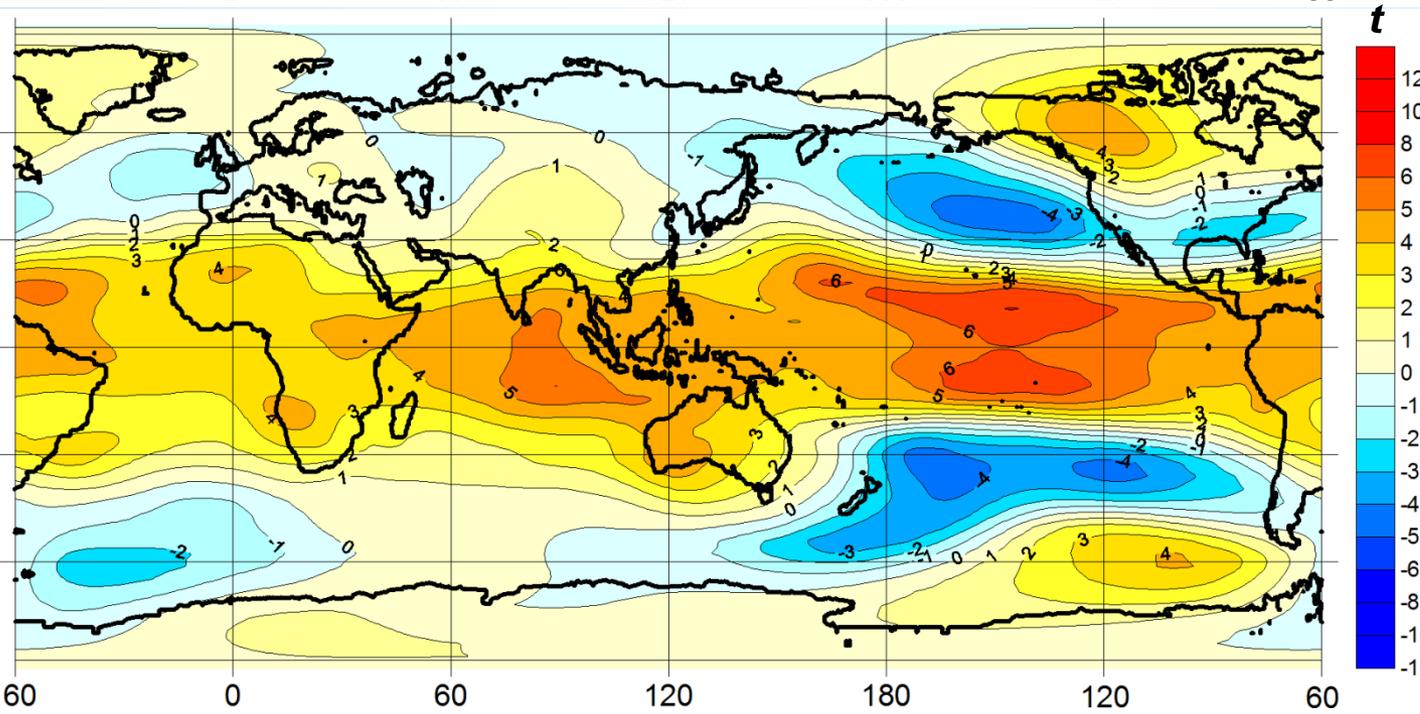


ГАО в свободной атмосфере и ее статистическая значимость



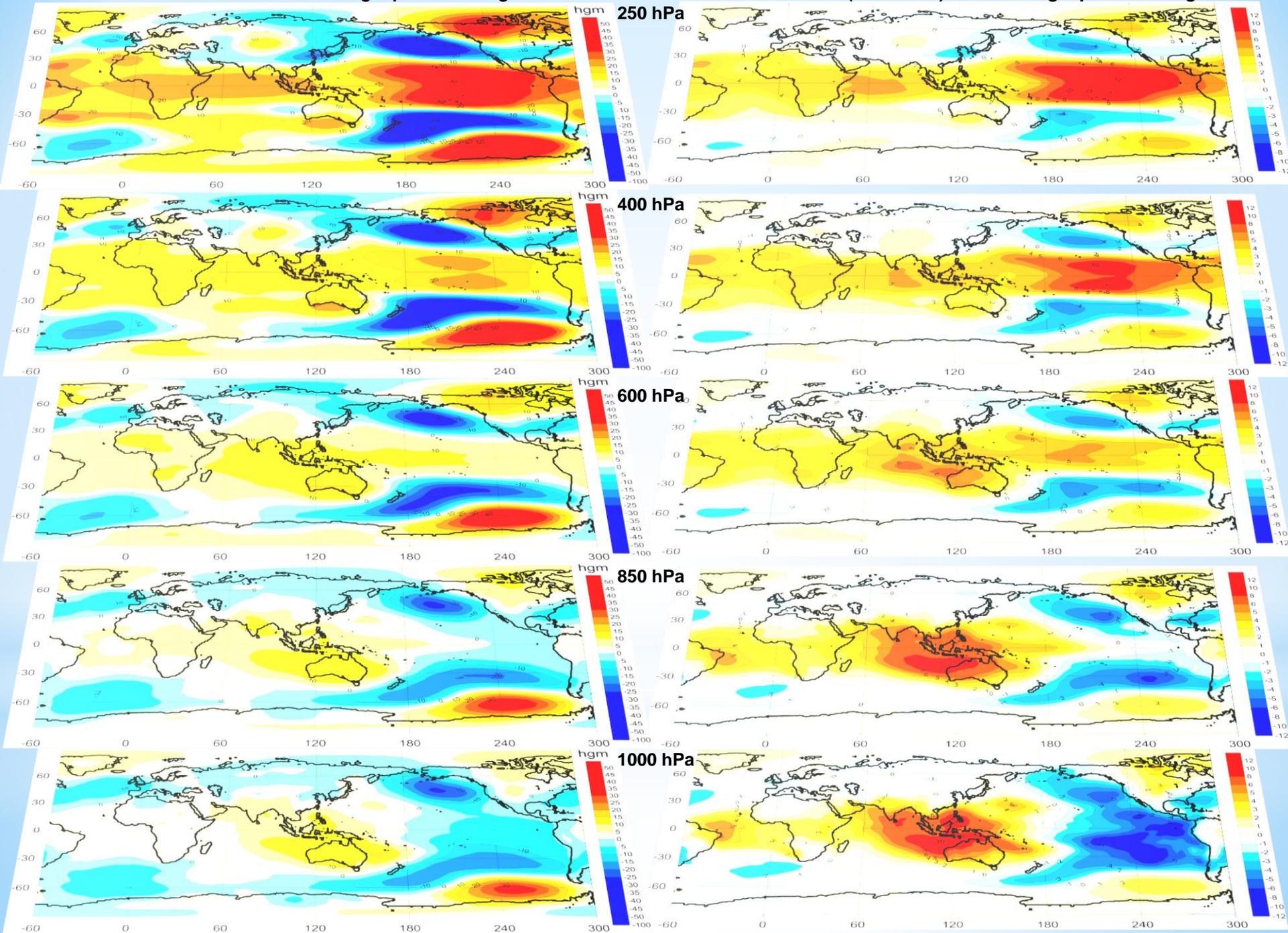
Amplitude of the geopotential height of 500 hPa level (20 events of El Niño versus 18 events of La Niña) averaged for 1948-2012.

GAO-500



Student test of amplitude of the geopotential height of 500 hPa level (20 events of El Niño versus 18 events of La Niña) averaged for 1948-2012.

Differences and t-Student test between geopotential heights of 20 El Niño and 18 La Niña events (1948-2012) at different geopotential height levels

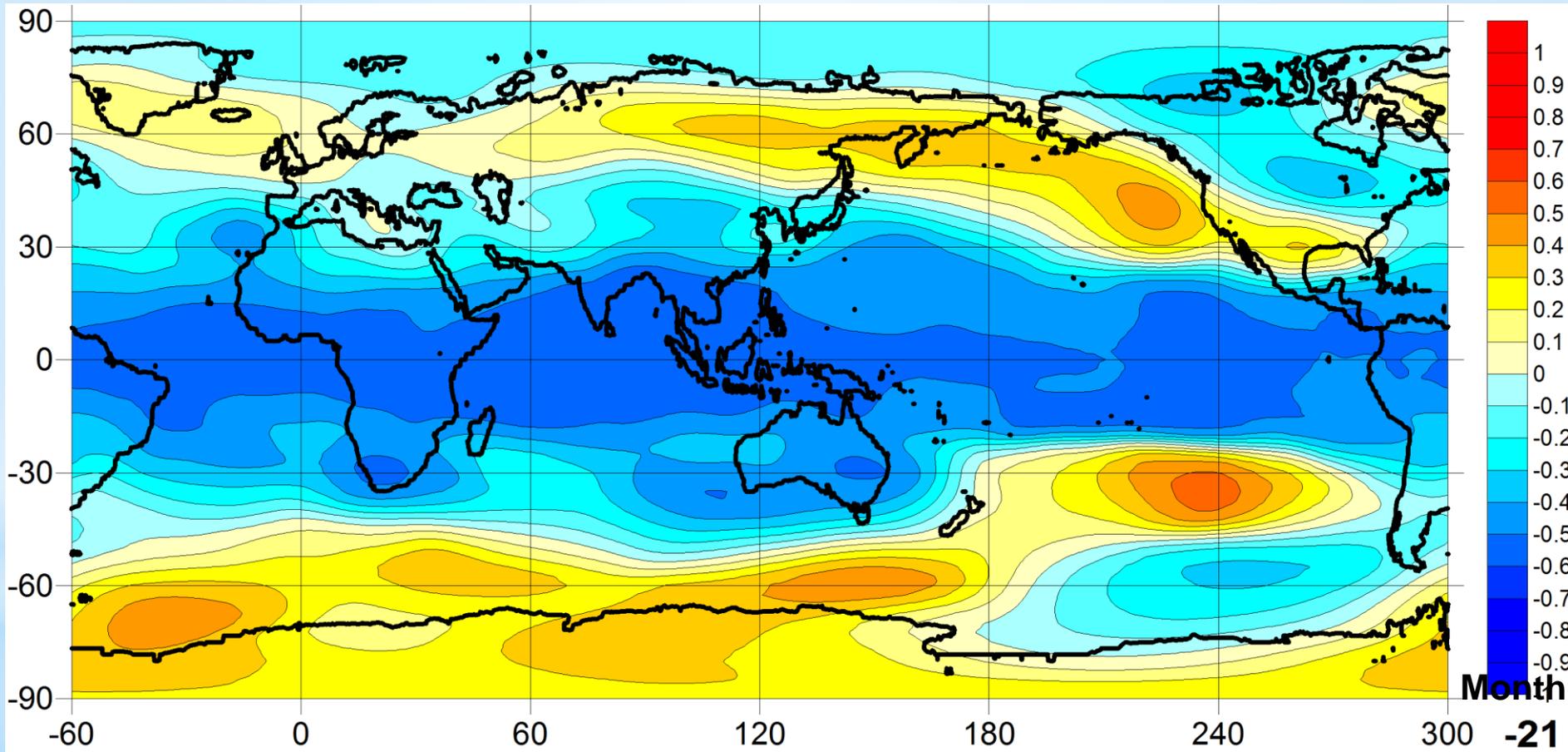


Динамика ГАО-500

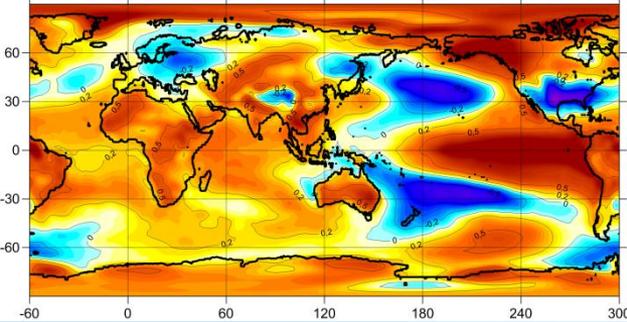
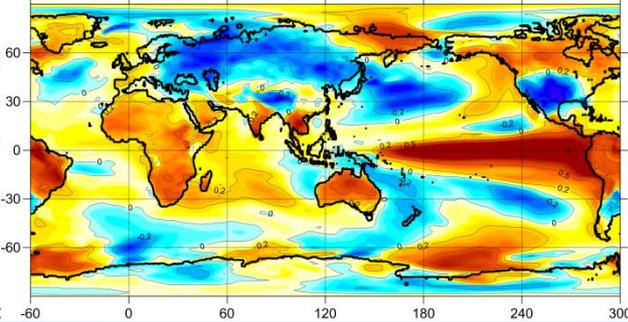
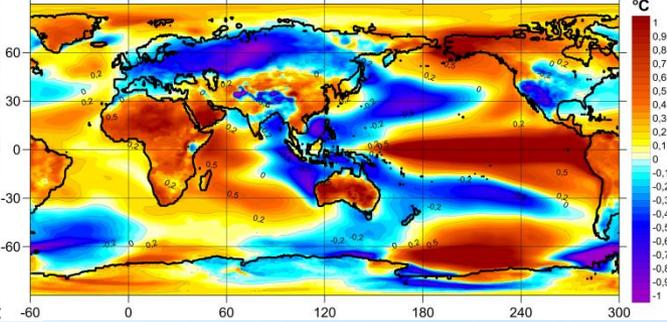
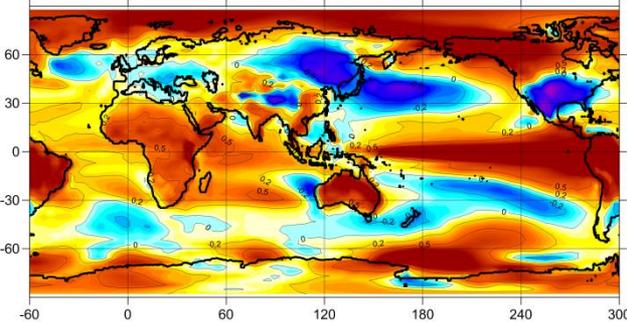
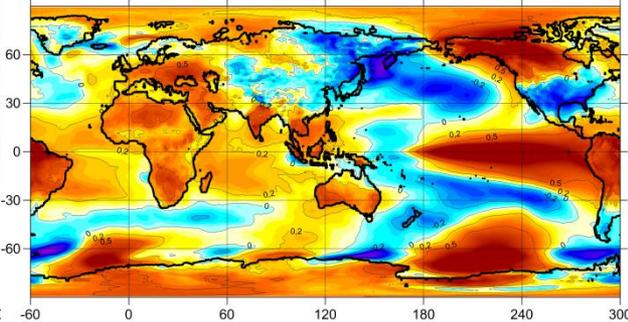
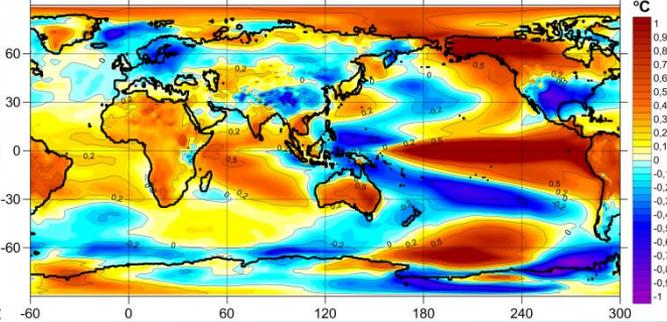
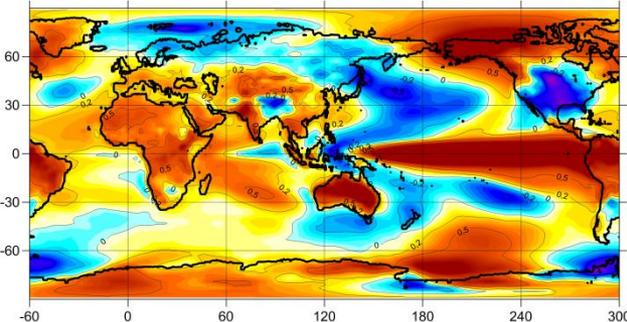
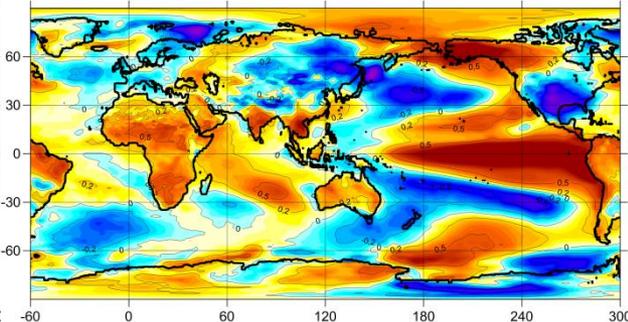
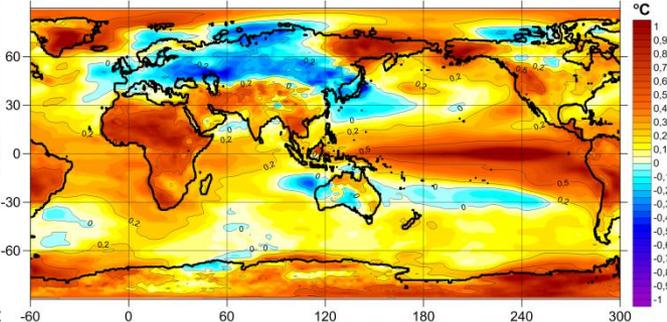
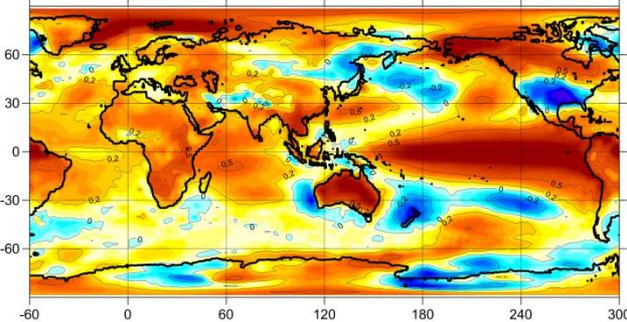
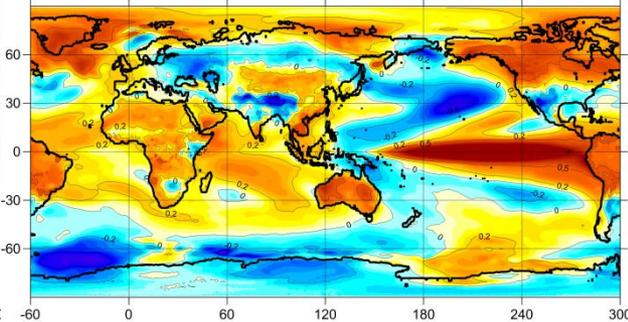
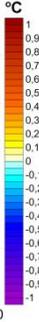
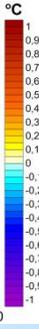
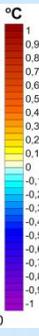
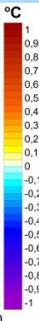
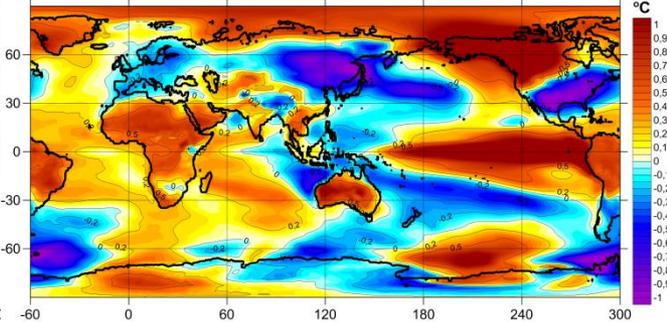
по данным о временных корреляциях (+21 месяц)

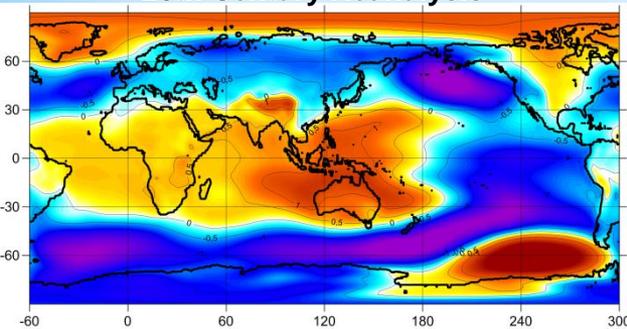
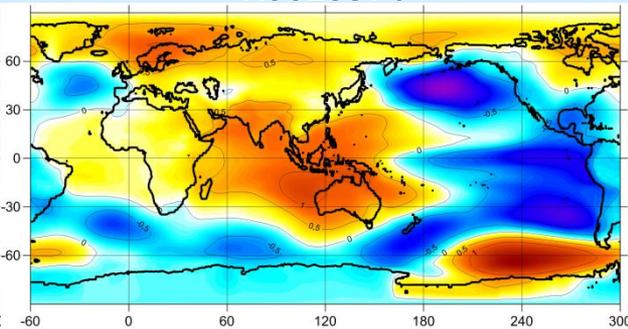
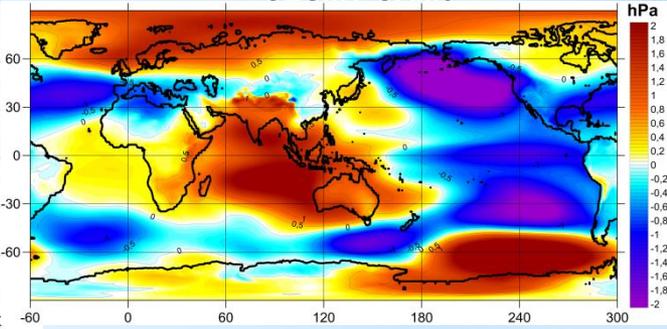
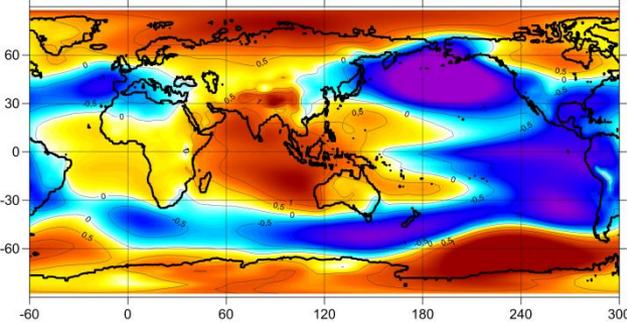
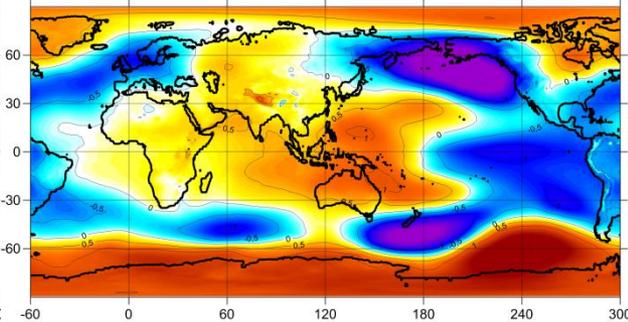
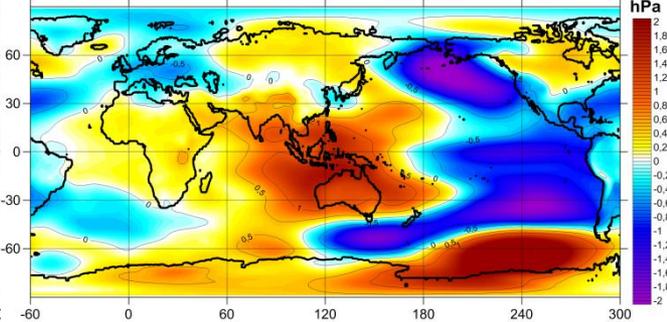
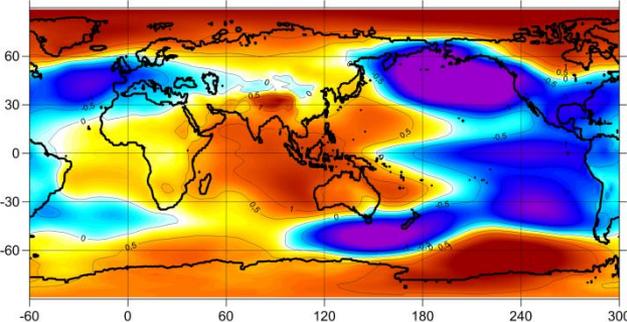
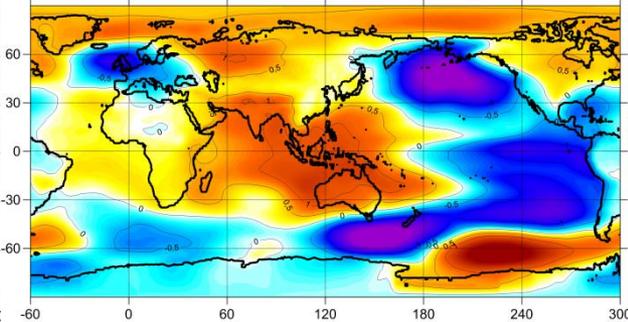
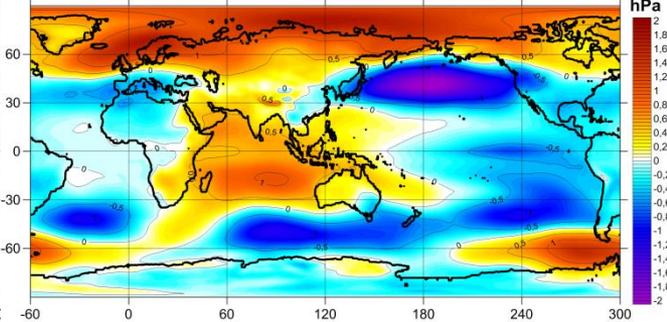
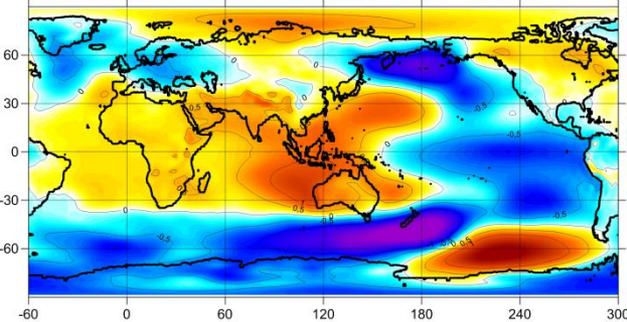
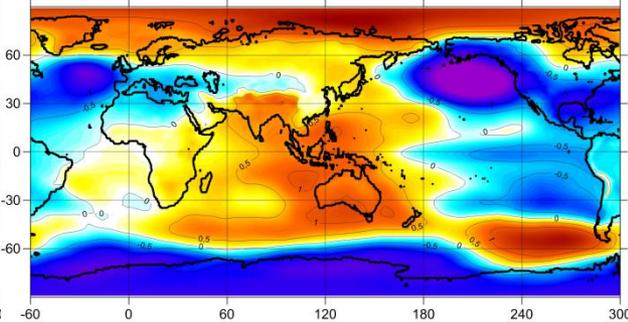
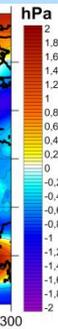
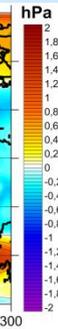
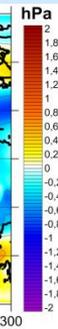
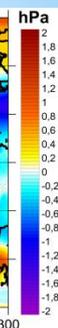
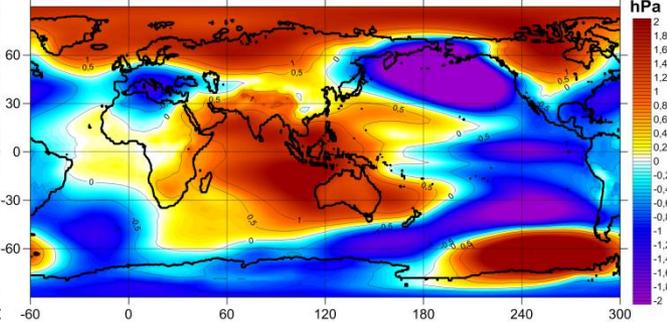
индекса Эль-Ниньо с аномалиями поля Н500

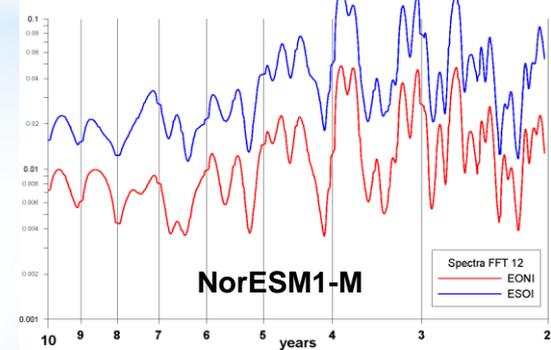
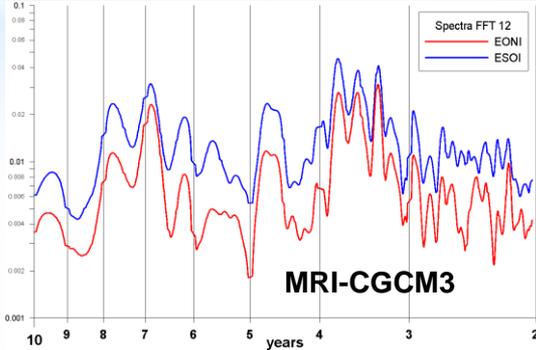
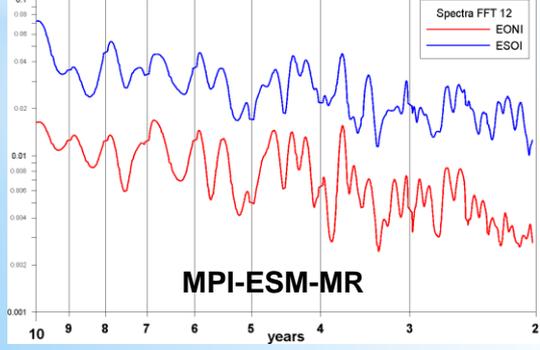
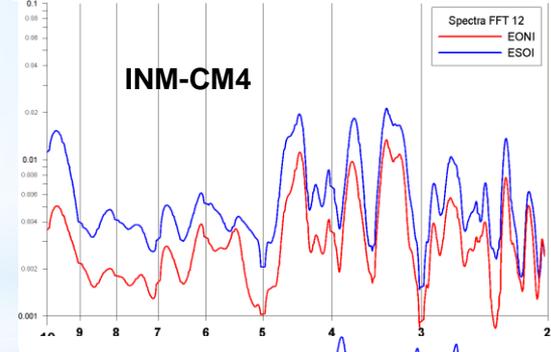
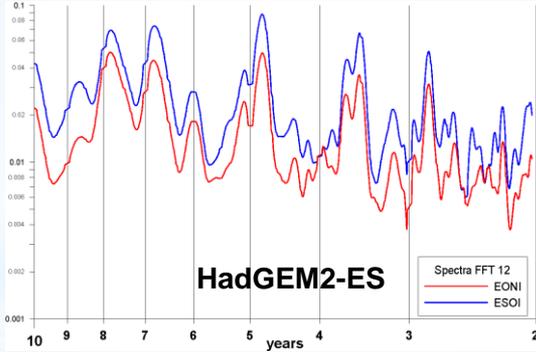
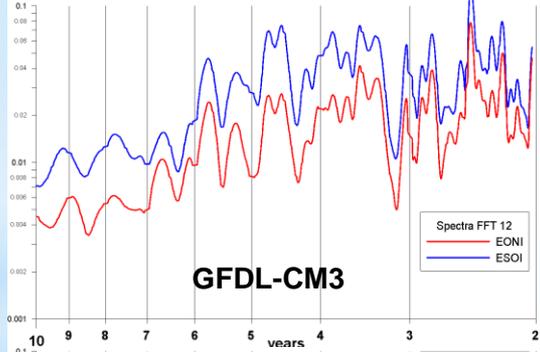
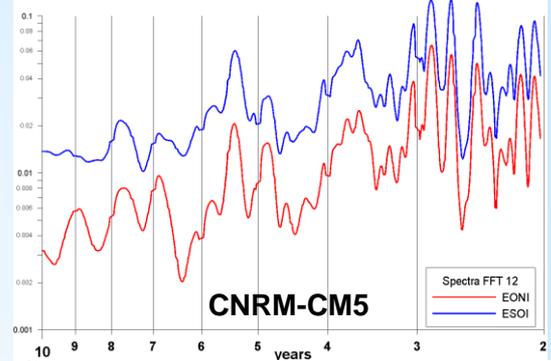
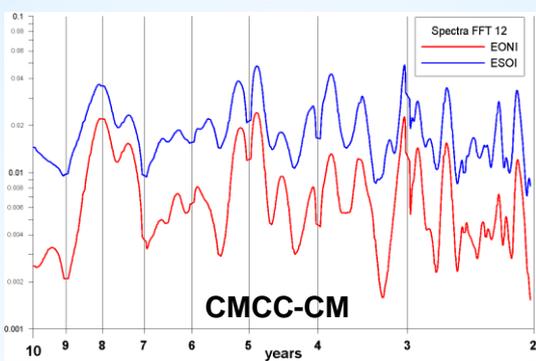
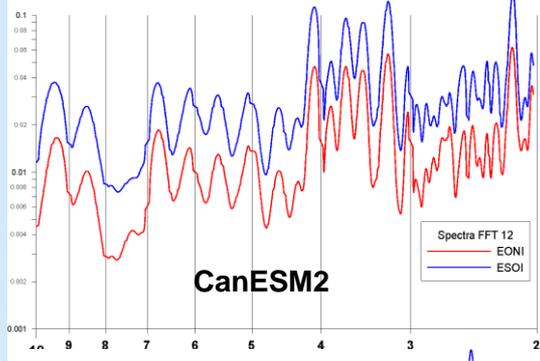
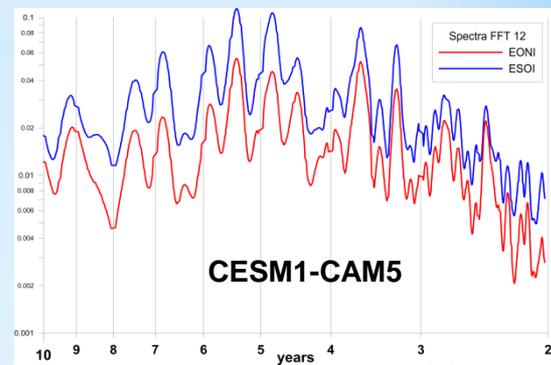
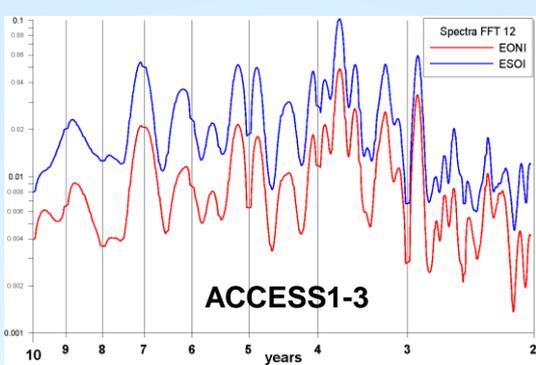
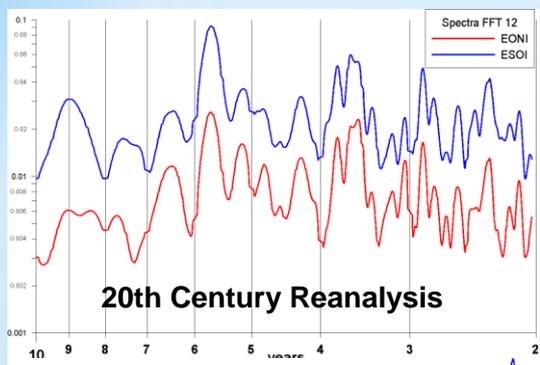
Cor



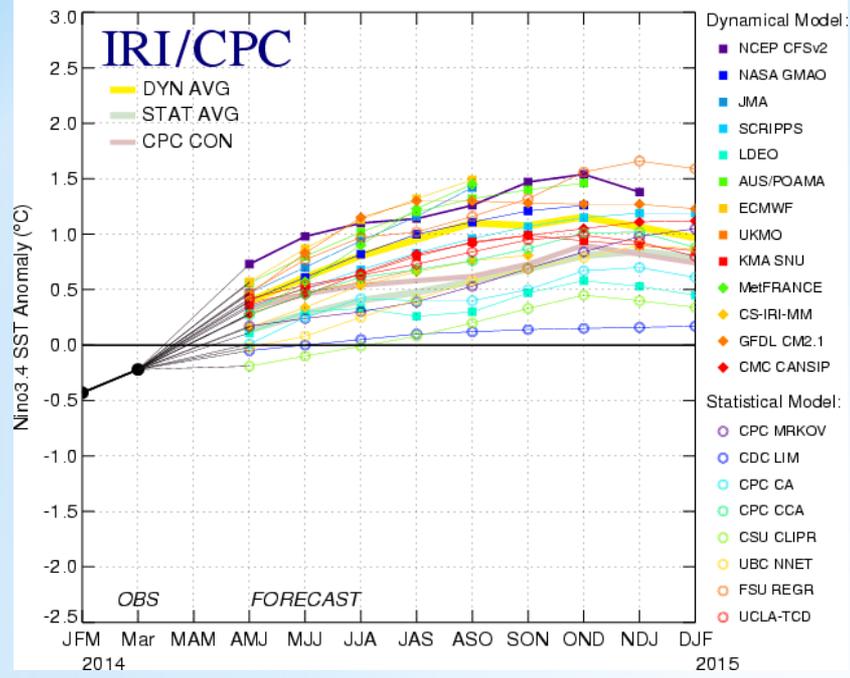
**Как
современные климатические модели
воспроизводят ГАО?**

20th Century Reanalysis**ACCESS1-3****CESM1-CAM5****CanESM2****CMCC-CM****CNRM-CM5****GFDL-CM3****HadGEM2-ES****INM-CM4****MPI-ESM-MR****MRI-CGCM3****NorESM1-M**

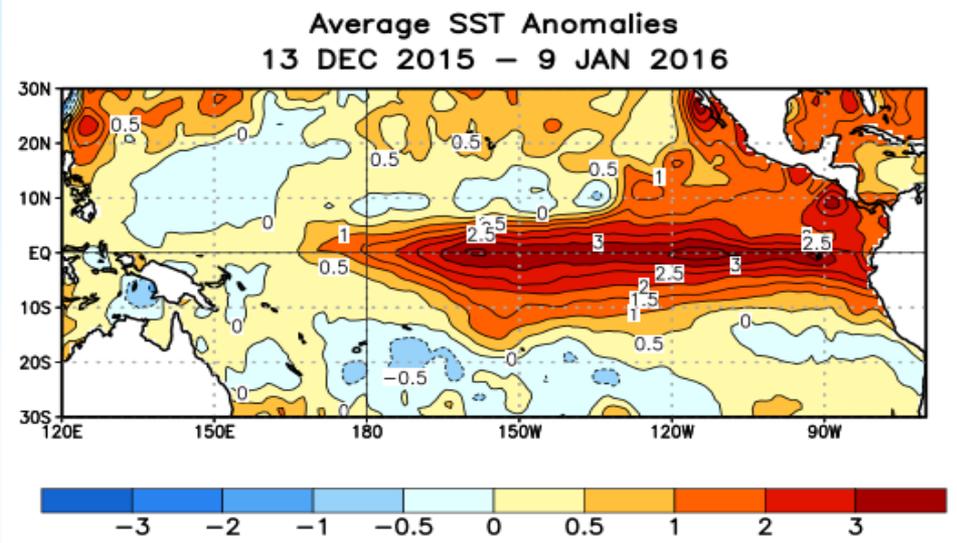
20th Century Reanalysis**ACCESS-3****CESM1-CAM5****CanESM2****CMCC-CM****CNRM-CM5****GFDL-CM3****HadGEM2-ES****INM-CM4****MPI-ESM-MR****MRI-CGCM3****NorESM1-M**



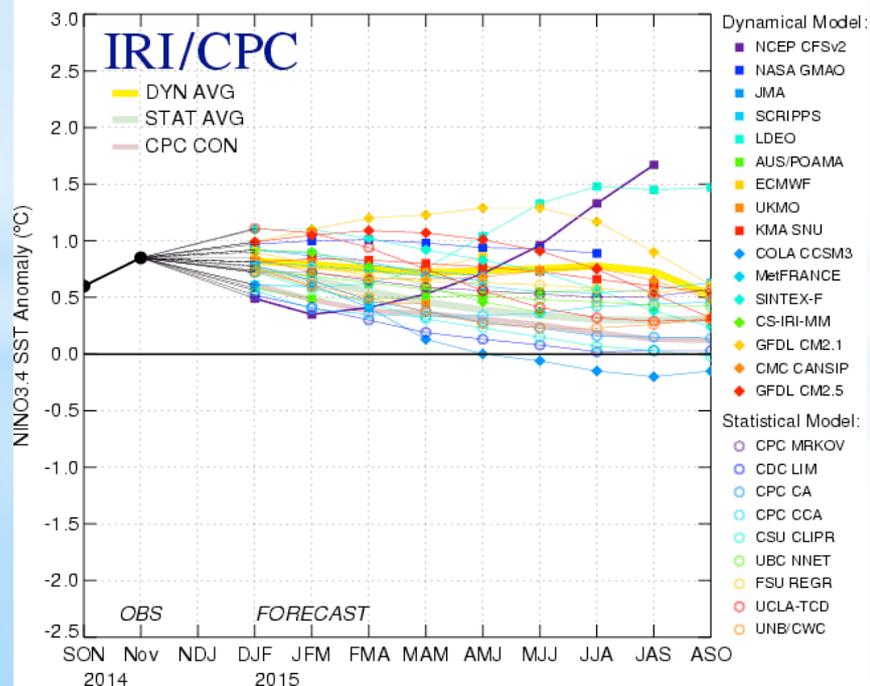
Mid-Apr 2014 Plume of Model ENSO Predictions



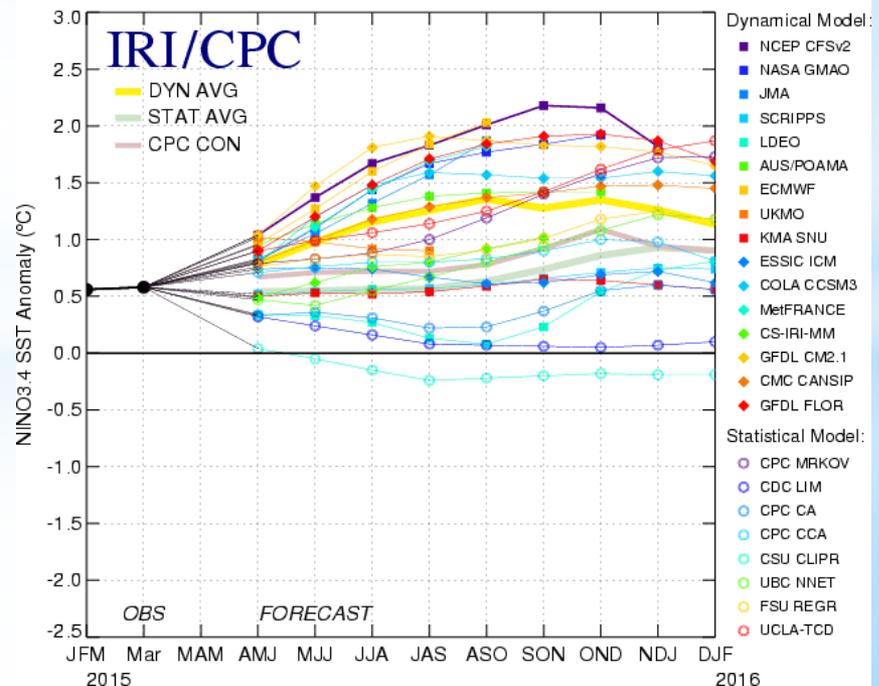
Climate Prediction Center / NCEP



Mid-Dec 2014 Plume of Model ENSO Predictions



Mid-Apr 2015 Plume of Model ENSO Predictions



ВЫВОДЫ по Части 2

1. ЭНЮК можно рассматривать как своеобразную «волну-убийцу», возбуждаемую динамикой атмосферных процессов., происходящих всюду на Земле (динамикой Глобальной атмосферной осцилляции – ГАО).
2. Динамика ГАО и ЭНЮК определяется не только годовым ходом притока тепла к атмосфере и океанам, но также тремя другими периодическими внешними силами: Чандлеровским колебанием полюсов Земли с периодом 14 месяцев, Лунно-Солнечной нутацией этих полюсов с периодом 18.6 года и Солнечной активностью с периодом 11.5 года.
3. Из-за несоизмеримости своих периодов, эти силы воздействуют на систему атмосфера – океан в «неподходящие» моменты времени. В результате, вместо «хаоса» возникают очень сложные («странные» в терминах математики), но внутренне упорядоченные (нехаотические) атмосферные движения.
4. Энергетические спектры этих движений являются дискретными и состоят из множества пиков спектральной плотности на периодах всех внешних сил, а также их суб-, супер- и комбинационных гармониках. Эти странные нехаотические движения, в принципе, не имеют предела предсказуемости.

5. Современные климатические модели неплохо воспроизводят пространственную структуру ГАО и ЭНЮК. Однако, пики в модельных спектрах находятся на суб-гармониках годового периода, так что моделируемая динамика ГАО и ЭНЮК отлична от реальной их динамики. В итоге, современные модели не могут предсказать Эль-Ниньо с заблаговременностью более полугода.
6. Один путь преодоления этого предела состоит в учете всех внешних сил в рамках современных климатических моделей. Но даже самые детализованные из них имеют пространственное разрешение на несколько порядков меньшее, чем требуется для этого. Например, отклонение оси вращения Земли от номинального положения при чандлеровском колебании не превышают 15 метров. Нужна какая-то параметризация эффектов и чандлеровского колебания и Лунно-Солнечной нутации.
7. Другой, возможно более легкий путь, состоит в построении эмпирической модели ГАО и ЭНЮК на основе комбинации всех выявленных в спектрах ГАО и ЭНЮК гармонических компонент. Например, предсказание нового сильного Эль-Ниньо на 2014 год было неудачным. Новое Эль-Ниньо развилось только в 2015 году, т.е. через 18 лет после Эль-Ниньо 1998 года!