
ВЕРОЯТНОСТНЫЙ СЕЗОННЫЙ ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Владимир Николаевич Крыжов

Гидрометеорологический
научно-исследовательский центр
Российской Федерации

Содержание

Актуальность и цель исследования

Результаты эмпирических исследований

- Пролонгированное влияние зимней зональной циркуляции
- Статистический прогноз зимнего индекса АО
 - стратосферная модуляция воздействия ЭНЮК на АО
 - связь полярности зимнего индекса АО с октябрьской циркуляцией

Постпроцессинг гидродинамических сезонных прогнозов

- Метод глобального вероятностного мультимодельного прогноза АРСС
- Метод вероятностной интерпретации результатов даунскайлинга

Метод вероятностного детализации глобальных ансамблевых прогнозов атмосферного давления модели ПЛАВ для прогноза зимней температуры воздуха на территории Северной Евразии

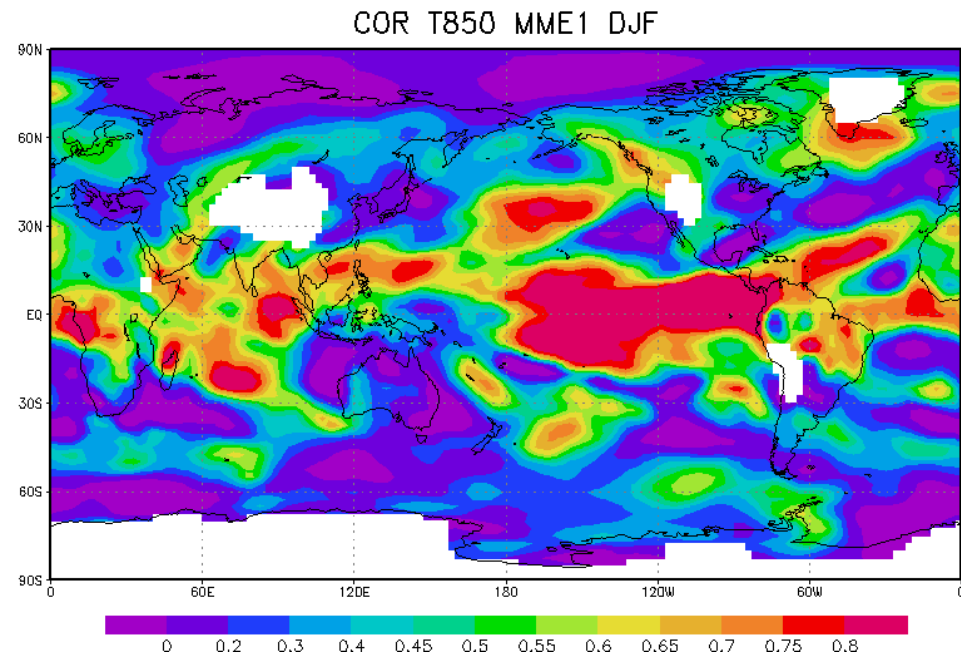
Актуальность темы:

Сезонный прогноз большой заблаговременности – одна из приоритетных научных и практических задач современной метеорологии.

Определенные успехи в сезонном прогнозировании с помощью гидродинамических моделей были достигнуты только для отдельных районов земного шара, главным образом, для тропиков

В последние десятилетия возрастающее внимание уделяется совершенствованию методов интерпретации сезонных модельных прогнозов – производству ансамблевых прогнозов, мультимодельных вероятностных прогнозов, методам даунскейлинга из глобальных прогнозов.

В фокусе работы - сезонный прогноз температуры воздуха на севере Евразийского континента с заблаговременностью один месяц, вероятностная интерпретация мультимодельных ансамблевых прогнозов, региональная детализация модельных прогнозов.



Цель исследования:

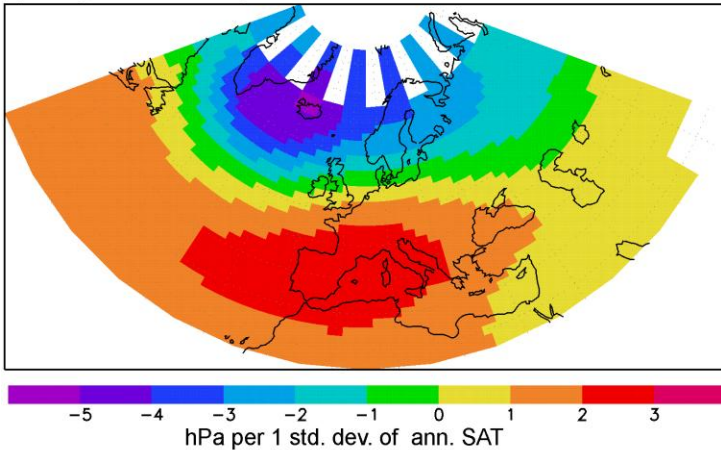
**Повышение качества сезонных прогнозов
большой заблаговременности для
внетропических широт на основе
усовершенствования методов
интерпретации модельных прогнозов с
учетом эмпирически установленных связей
метеорологических величин.**

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭМПИРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

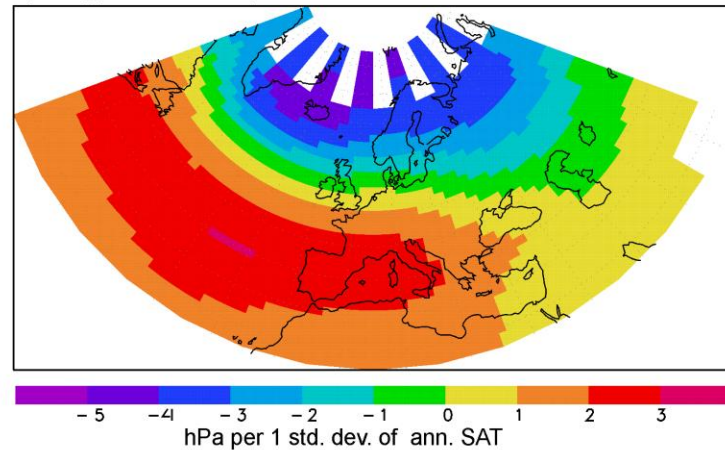
Обеспечение достоверности результатов анализа

- Все эмпирические исследования проводились с использованием различных данных. Результаты, полученные на данных из одного источника, дублировались на данных из других источников.
- Основной критерий отбора данных для анализа - общедоступность, что предполагает возможность проверки достоверности полученных результатов другими исследователями.
- В эмпирических исследованиях применялись стандартные методы статистического анализа: корреляционный и регрессионный анализ, сравнение средних выборок, дисперсионный анализ и т.д.
- Определение уровня значимости получаемых статистических оценок всегда проводилось с учетом эффективного (эквивалентного) числа степеней свободы.
- При анализе полей (множества) оценок всегда проводился «тест значимости поля» на основе метода Монте-Карло.
- Значимость результатов анализа главных компонент на основе разложения на эмпирические ортогональные функции (разделимость ЭОФов) проверялась с использованием критерия Норта.
- Значимость результатов метода максимальных ковариаций на основе сингулярного разложения, проверялась с использованием метода Монте-Карло.

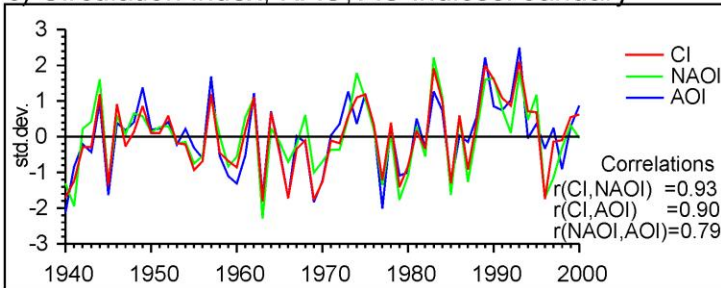
a) Regression map Jan. SLP, ann. SAT



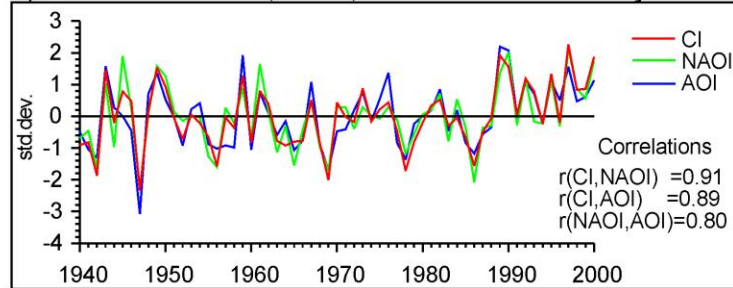
b) Regression map Feb. SLP, ann. SAT



c) Circulation index, NAO, AO indices. January

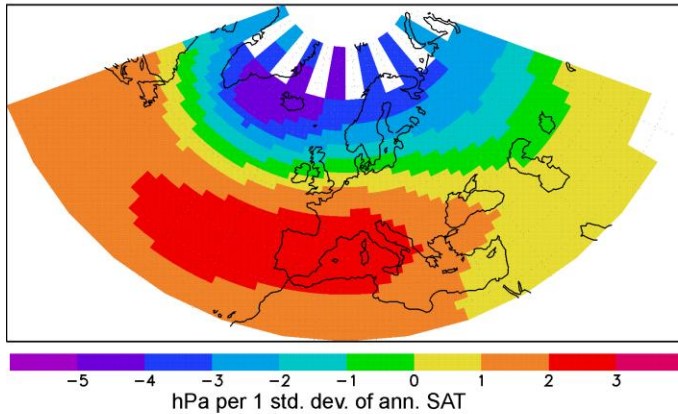


d) Circulation index, NAO, AO indices. February

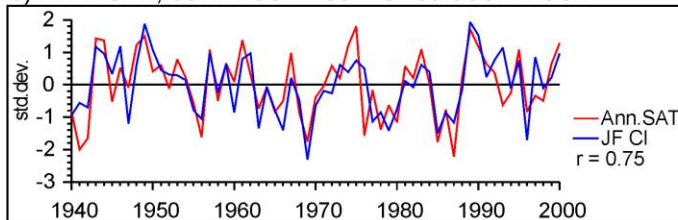


Карты коэффициентов регрессии атмосферного давления в январе (а) и феврале (b) на среднюю годовую температуру воздуха. Многолетние ряды стандартизированных индексов циркуляции, индексов САК и АО за январь (c) и февраль (d). Также показаны коэффициенты корреляции между индексами (1940 – 2000 гг.)

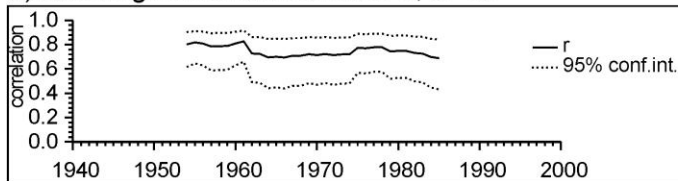
a) Regression map JF SLP, ann. SAT



c) Ann. SAT, Jan.-Feb. mean Circulation index



e) Running correlations ann.SAT, JF CI



Карты коэффициентов регрессии осредненного за январь-февраль атмосферного давления в январе на среднюю годовую температуру воздуха.

Многолетние ряды средней годовой температуры воздуха и стандартизированного индекса январско-февральской циркуляции

Коэффициенты корреляции в скользящих 29-летних окнах

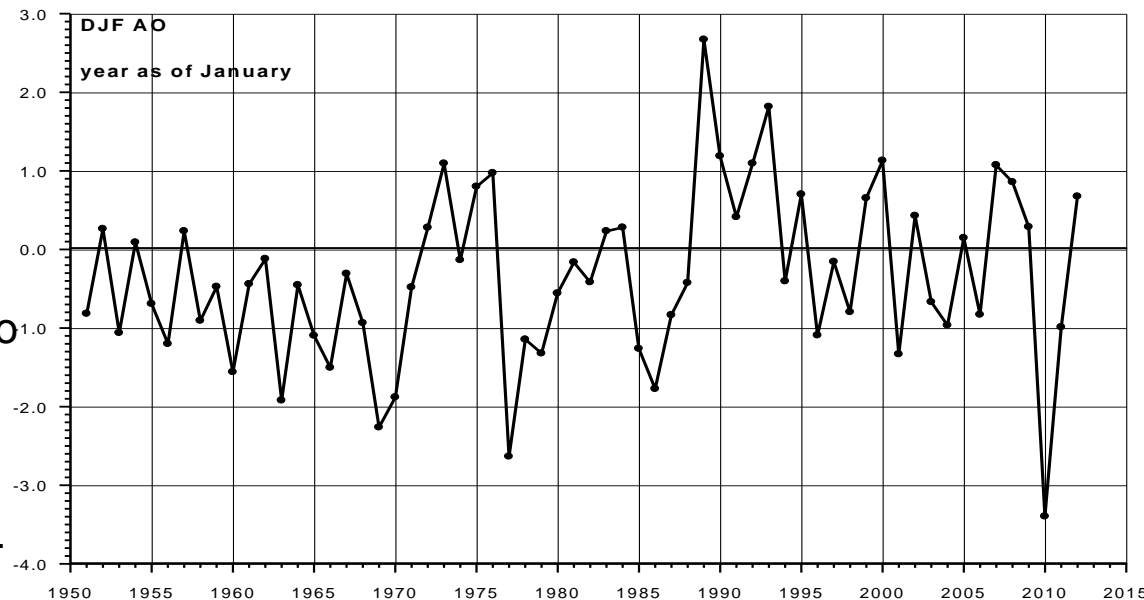
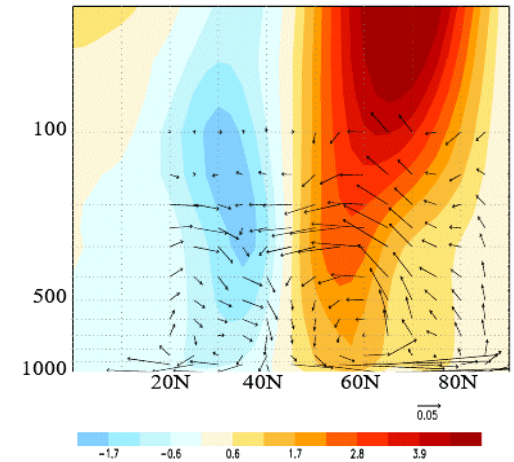
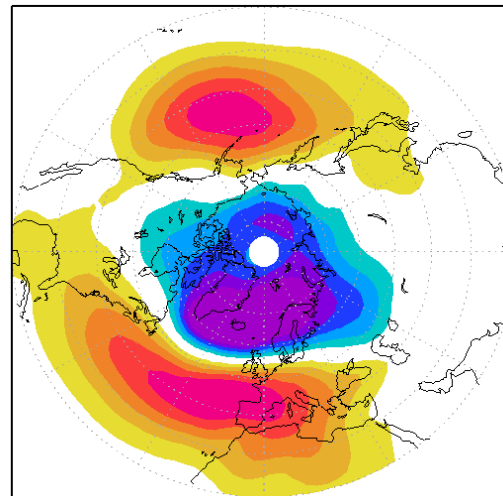
Вывод: статистически значимый вклад ($R^2 = 0.56$) в изменчивость средней годовой температуры воздуха севера ЕТР вносится только январско-февральской формой изменчивости зональной циркуляции - изменчивости, подобной АО и САК

Формализация термина «изменчивость зональной циркуляции»

Thompson, Wallace,
(1998, 2000):

Арктическая Осцилляция

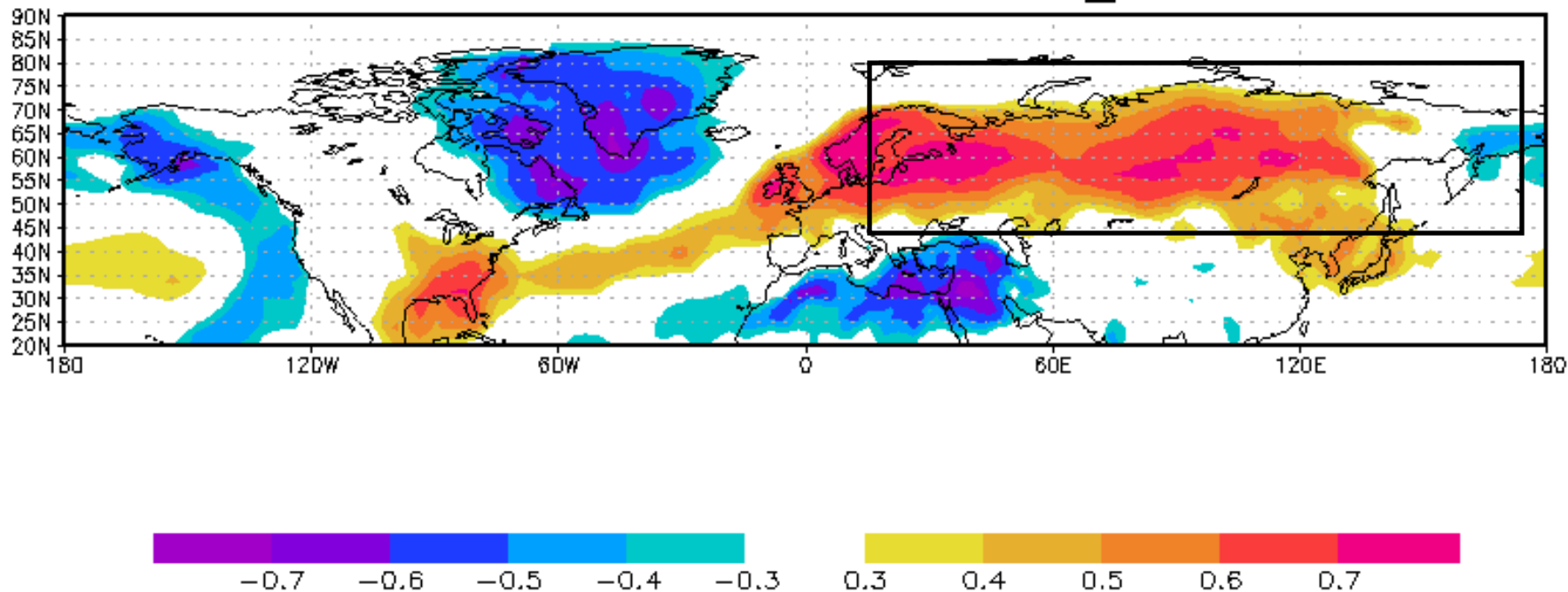
– ЭОФ-1 N_{1000} СП, характеризует
градиент давления (геопотенциала)
между поясом $40 - 50^\circ$ с.ш. и
полярной областью, описывая около
20% общей дисперсии высоты
поверхности 1000 гПа и атмосферного
давления на уровне моря.
Доминирующая мода атмосферной
изменчивости внетропических широт
северного полушария в зимний сезон.



Синхронные связи

зимней температуры воздуха и зимнего индекса АО

corr DJF T2 vs. DJF AO 1979_2010



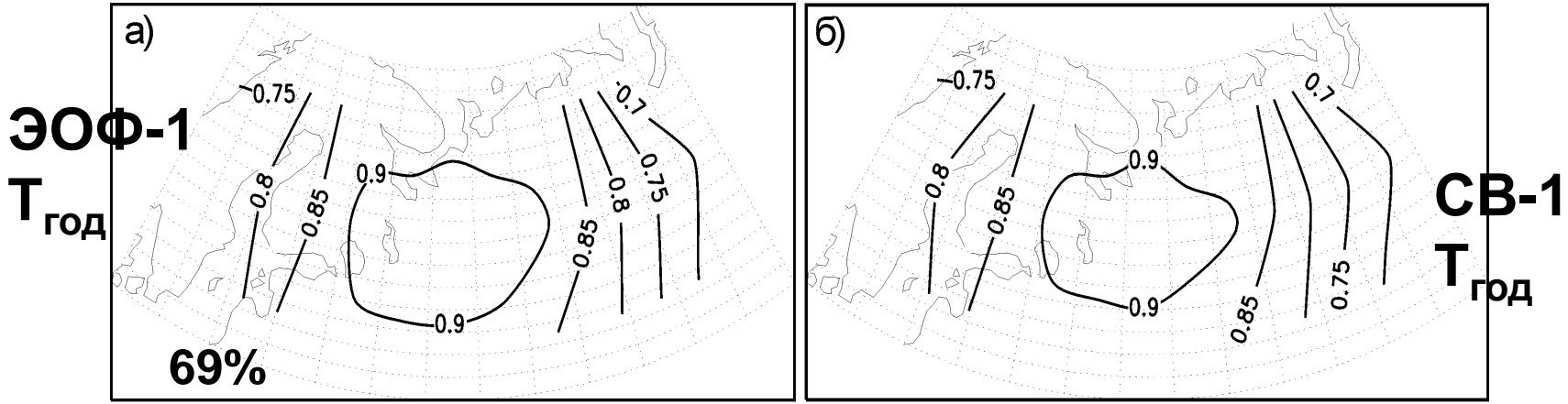
Коэффициенты корреляции между средней зимней температурой воздуха и средним зимним индексом АО. Коэффициенты рассчитаны по ряду 1979-2010 гг.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭМПИРИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

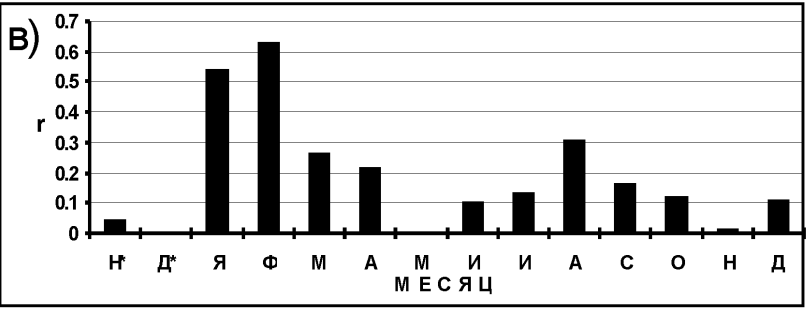
**Пролонгированное влияние зимней зональной
циркуляции на метеорологические величины на ЕТР**

АО каких месяцев вносит статистически значимый вклад в среднюю годовую температуру воздуха на ЕТР?

(по Крыжов, МиГ-2004)

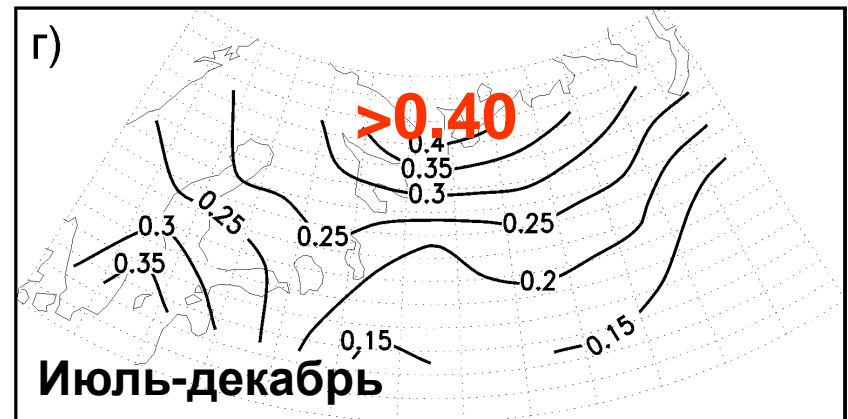
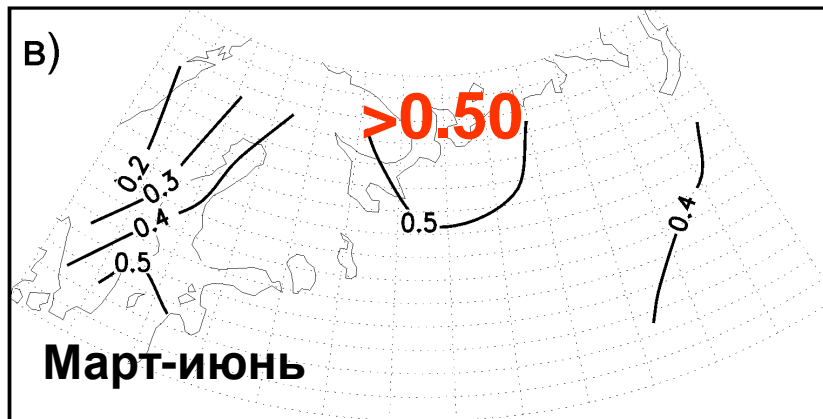
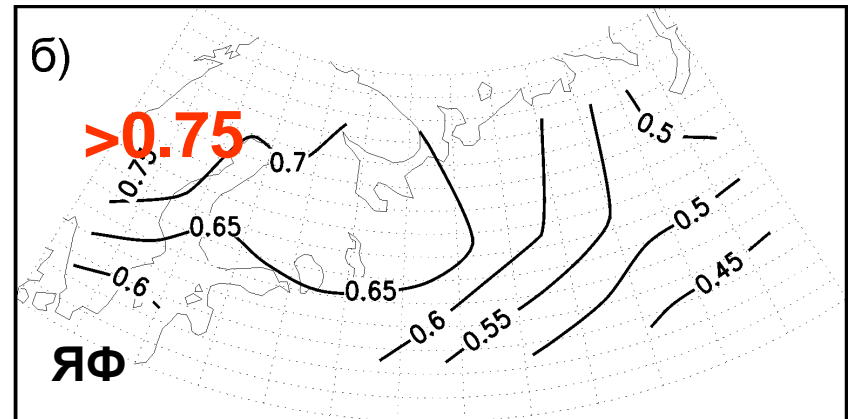
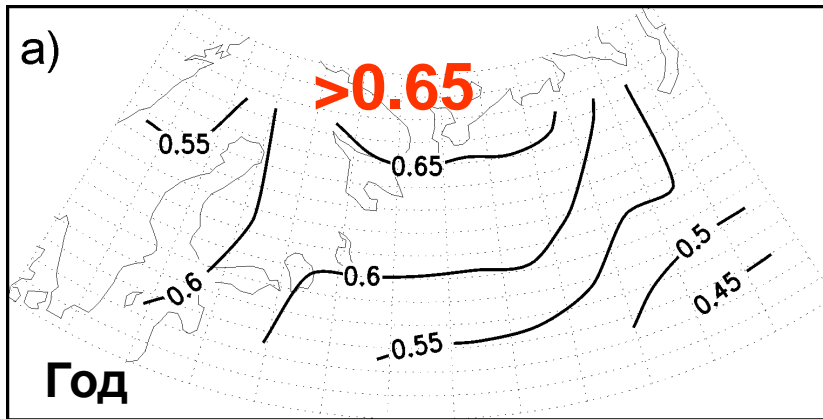


(1935 – 2001 гг.)



$r=0.72$
СВ-1 АО_{ср.мес.}

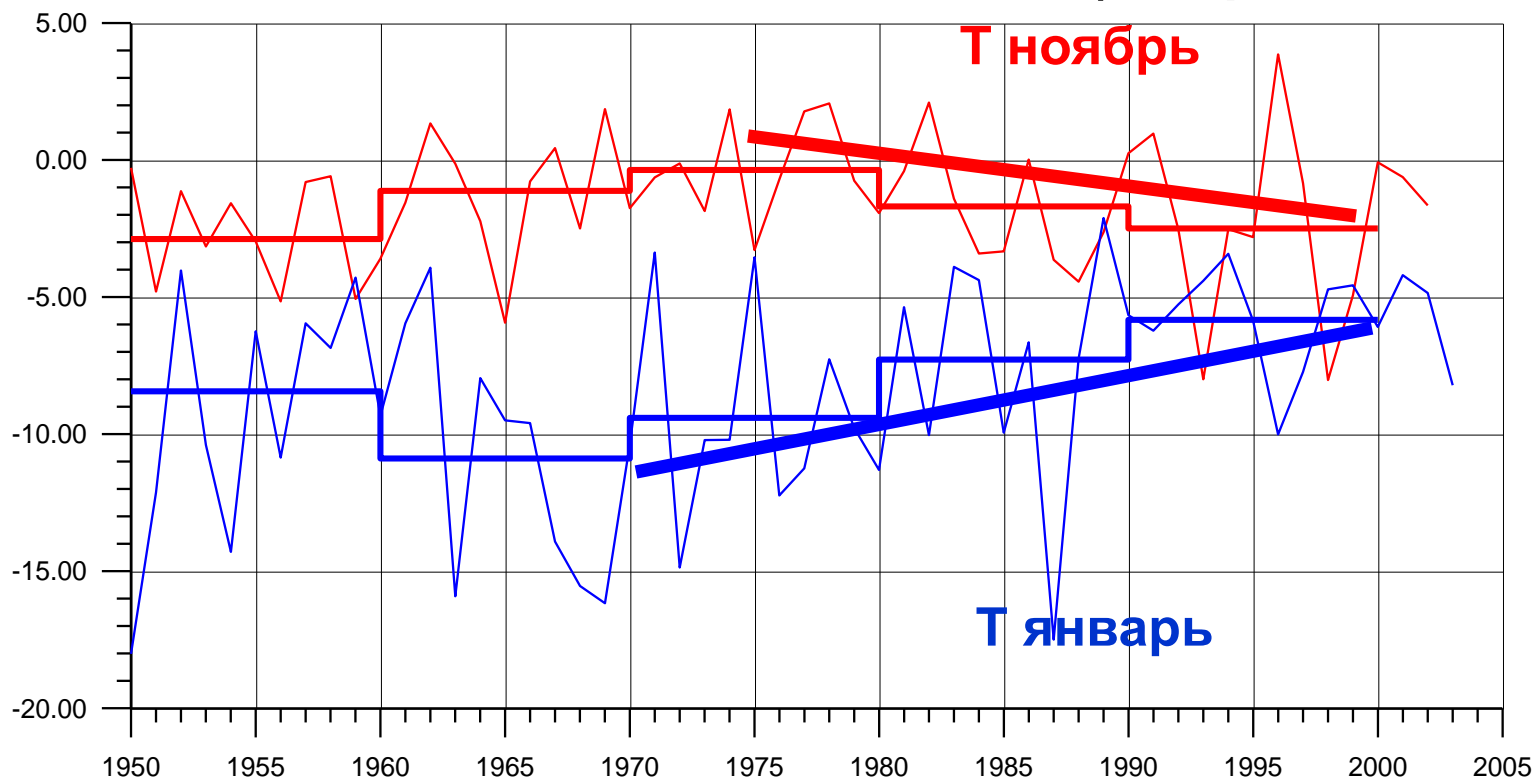
Первая ЕОФ средней годовой температуры воздуха (69%), представленная как карта гомогенных корреляций (а); первая SVD мода средней годовой температуры воздуха, представленная как карта гомогенных корреляций (б); первая SVD мода средних месячных индексов АО, представленная как структура гетерогенных корреляций (в). Звездочками отмечены ноябрь и декабрь предыдущего года.



Карты корреляций между $AO_{ЯФ}$ и температурой воздуха, осредненной за год (а), январь-февраль (б), март-июнь (в), июль-декабрь (г).

Вывод: около 50% изменчивости средней годовой температуры воздуха севера ЕТР описывается межгодовой изменчивостью среднего январско-февральского индекса АО. Март-июнь – около 20%, июль-декабрь – около 20% на аркт. побережье.

В чем причина ноябрьских похолоданий 1970-1990-х годов (По Крыжов, МиГ-2008)

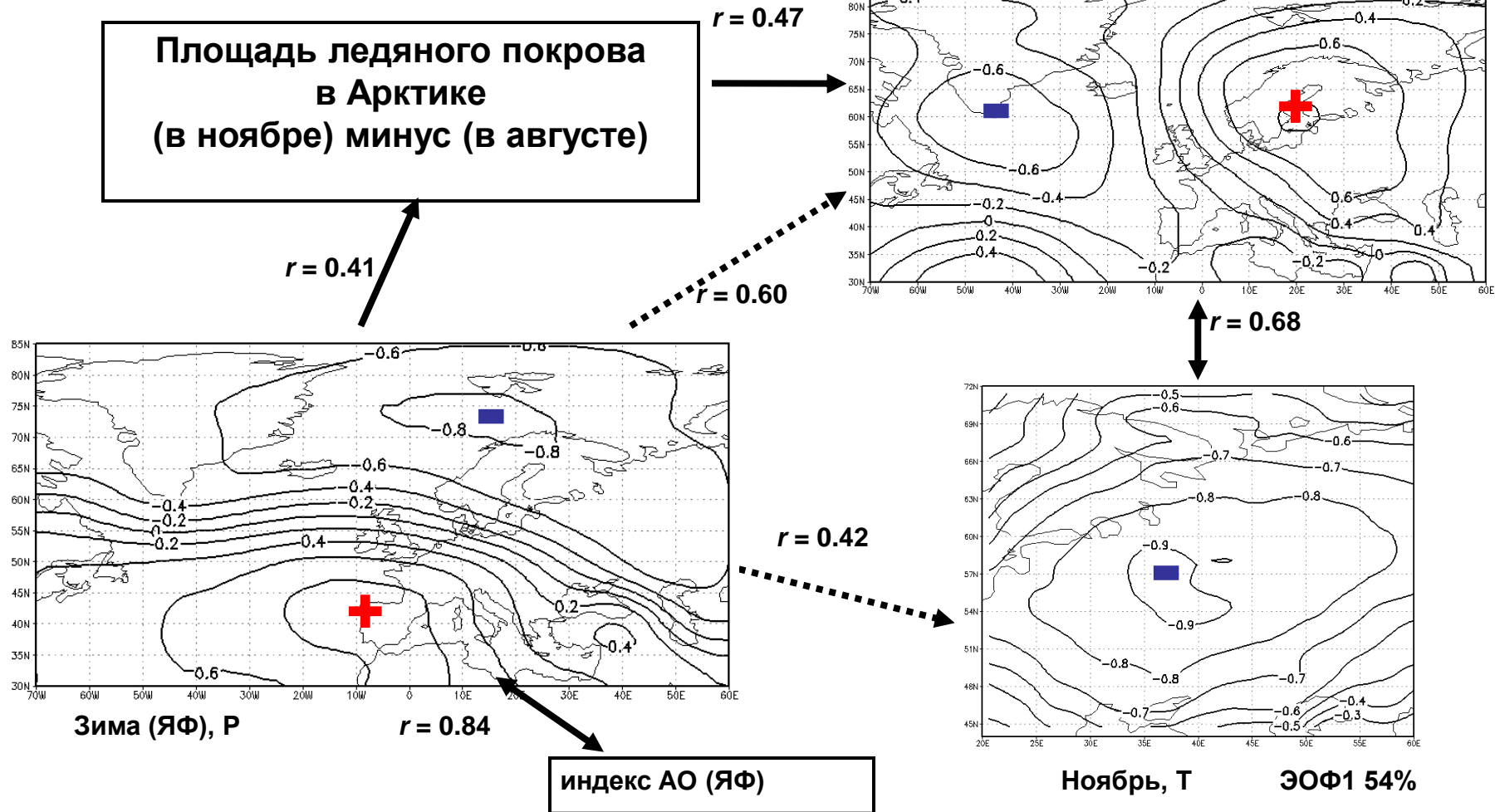


Температура воздуха в Москве

Изменения средней десятилетней температуры от 1960-х к 1990-м:

Год	+ 1.0°C
Январь	+ 5.8°C
Ноябрь	- 1.4°C

1950 – 2005, межгодовая изменчивость



Вывод: ноябрьское похолодание на ЕТР 1970-х – 1990-х гг. и последующее потепление связаны с ростом и последующим снижением повторяемости положительной фазы зимней АО

Выводы

Зимняя зональная циркуляция, изменчивость которой может быть представлена индексом АО, оказывает синхронное и пролонгированное влияние на температуру воздуха на ЕТР вплоть до ноября. Пролонгированное влияние обеспечивается памятью свойств подстилающей поверхности об условиях своего зимнего формирования под влиянием АО.

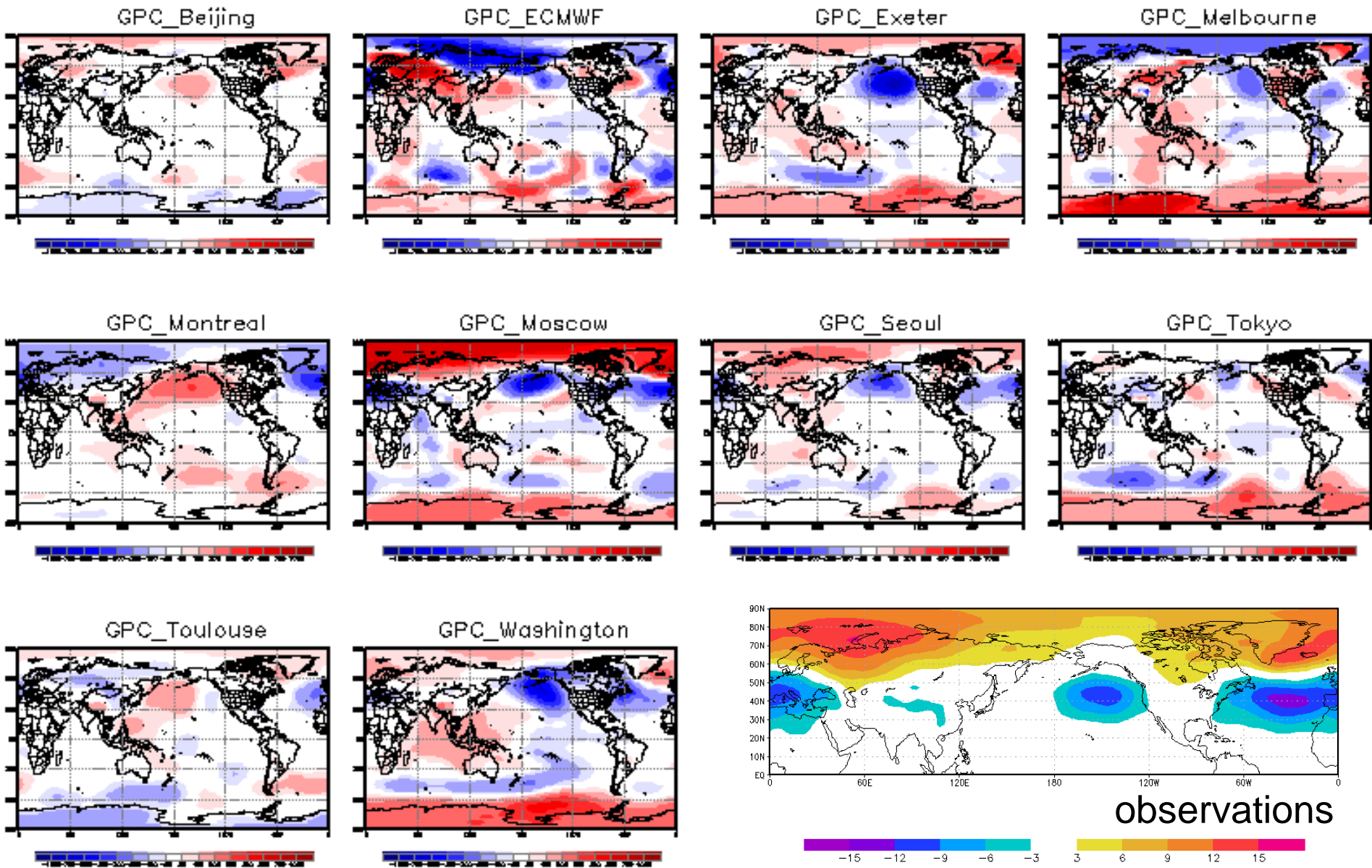
Впервые показано, что изменчивость только январского и февральского индекса АО вносит значимый вклад (более 50% дисперсии) в изменчивость средней годовой температуры воздуха в северной части ЕТР

Впервые показано «влияние» январско-февральской зональной циркуляции на ноябрьскую циркуляцию в атлантико-европейском секторе и ноябрьскую температуру воздуха на ЕТР. Этот результат объясняет наблюдавшееся на ЕТР ноябрьское похолодание в 1970-х – 1990-х гг. и последующее потепление. Показано, что это «влияние» может передаваться через осенние характеристики ледяного покрова в Арктике, хранящего «память» об условиях своего формирования под сильным влиянием АО в предыдущую зиму.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭМПИРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

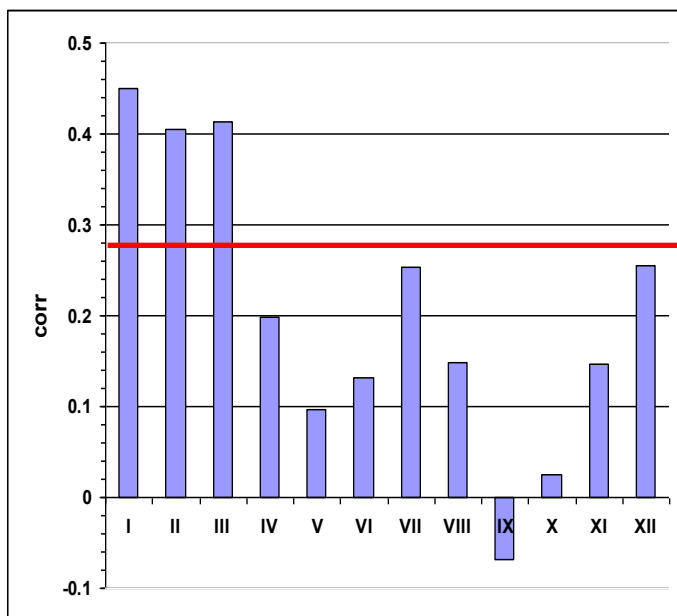
Статистический прогноз зимнего индекса АО

- стратосферная модуляция воздействия ЭНЮК на АО
 - связь полярности зимнего индекса АО с октябрьской циркуляцией
-



GPCs' predictions of DJF MSLP for winter 2009/10

Результаты тестирования октябрьских предикторов зимней фазы АО, ожидаемых по публикациям



Инерционный прогноз среднего зимнего индекса АО по октябрьскому – слишком слабые связи.

Так же слишком слабые статистические связи с октябрьскими предикторами:

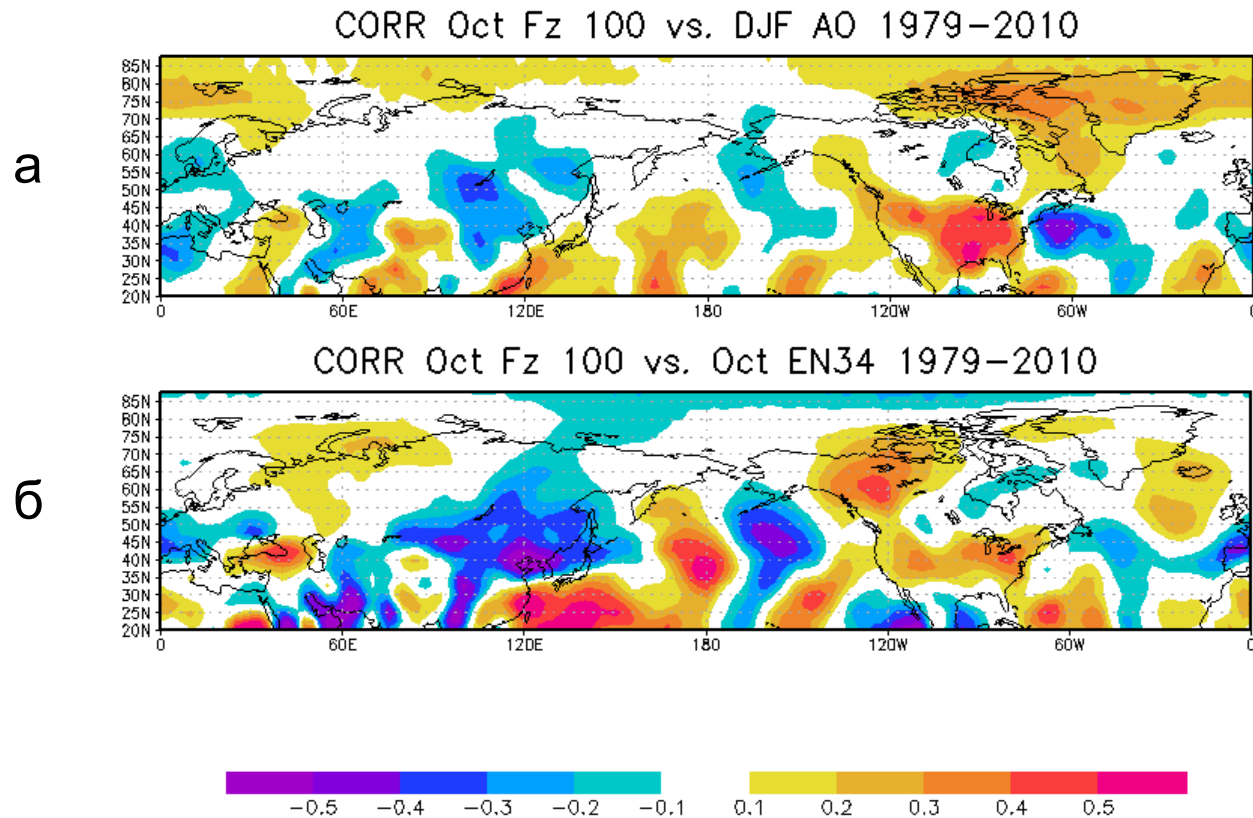
- со стратосферным индексом АО,
- со снежным покровом Евразии,
- с триполем ТПО в Сев.Атлантике,
- с ЭНЮК.

Коэффициенты корреляции между рядами индекса АО (1958-2011) в текущий и в предыдущий месяцы.

Красная линия соответствует 5% уровню значимости.

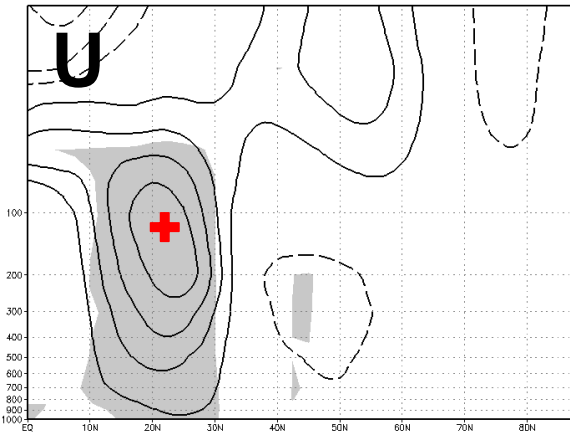
Влияние ЭНЮК на АО статистически не значимо!

(модельные расчеты сезонного прогноза управляются граничными условиями – гл.обр. ТПО в экваториальной части Тихого океана)

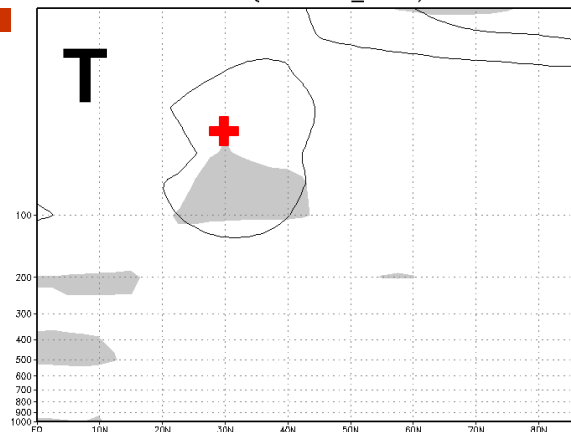


Карта коэффициентов корреляции между восходящим потоком Элиассена-Палма через поверхность 100 гПа и (а) зимним индексом АО, (б) октябрьским индексом Niño3.4, взятым с обратным знаком (1979-2010).

DJF U(Smax(Warm-Cold))

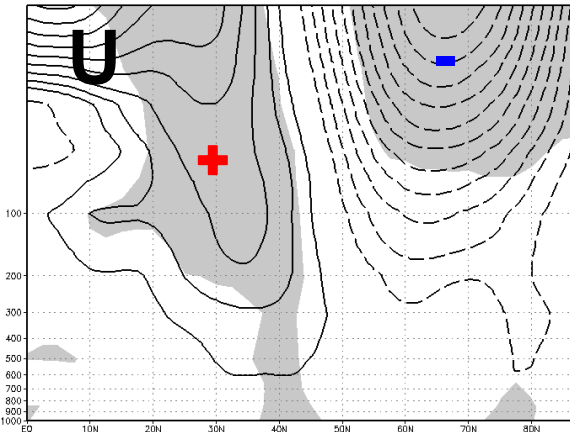


DJF T(S+ N3+_N3-)

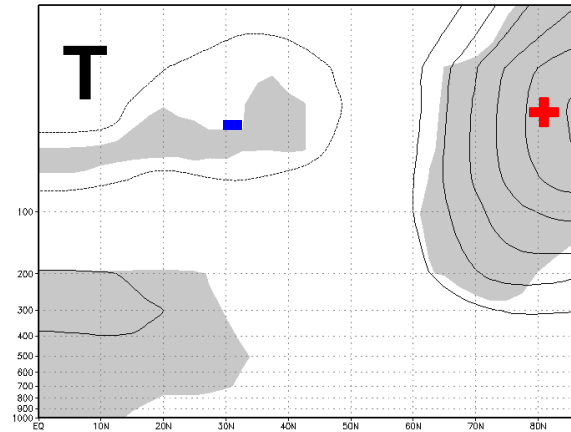


Разность композитов U и T
при EN и LN
S+

DJF U(Smin(Warm-Cold))

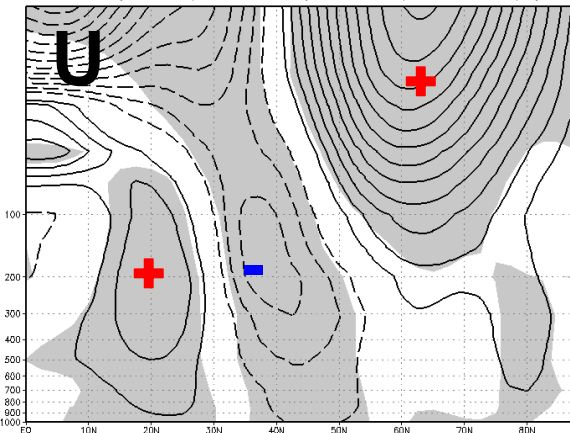


DJF T(S- N3+_N3-)

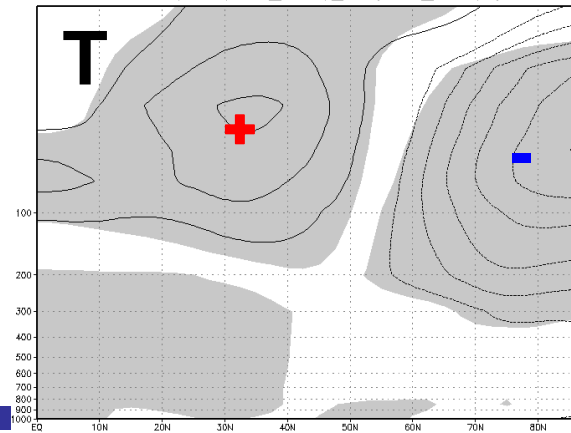


Разность композитов U и T
при EN и LN
S-

DJF U(Smax(Warm-Cold) - Smin(Warm-Cold))



DJF T(S+(N3+_N3-)-S-(N3+_N3-))



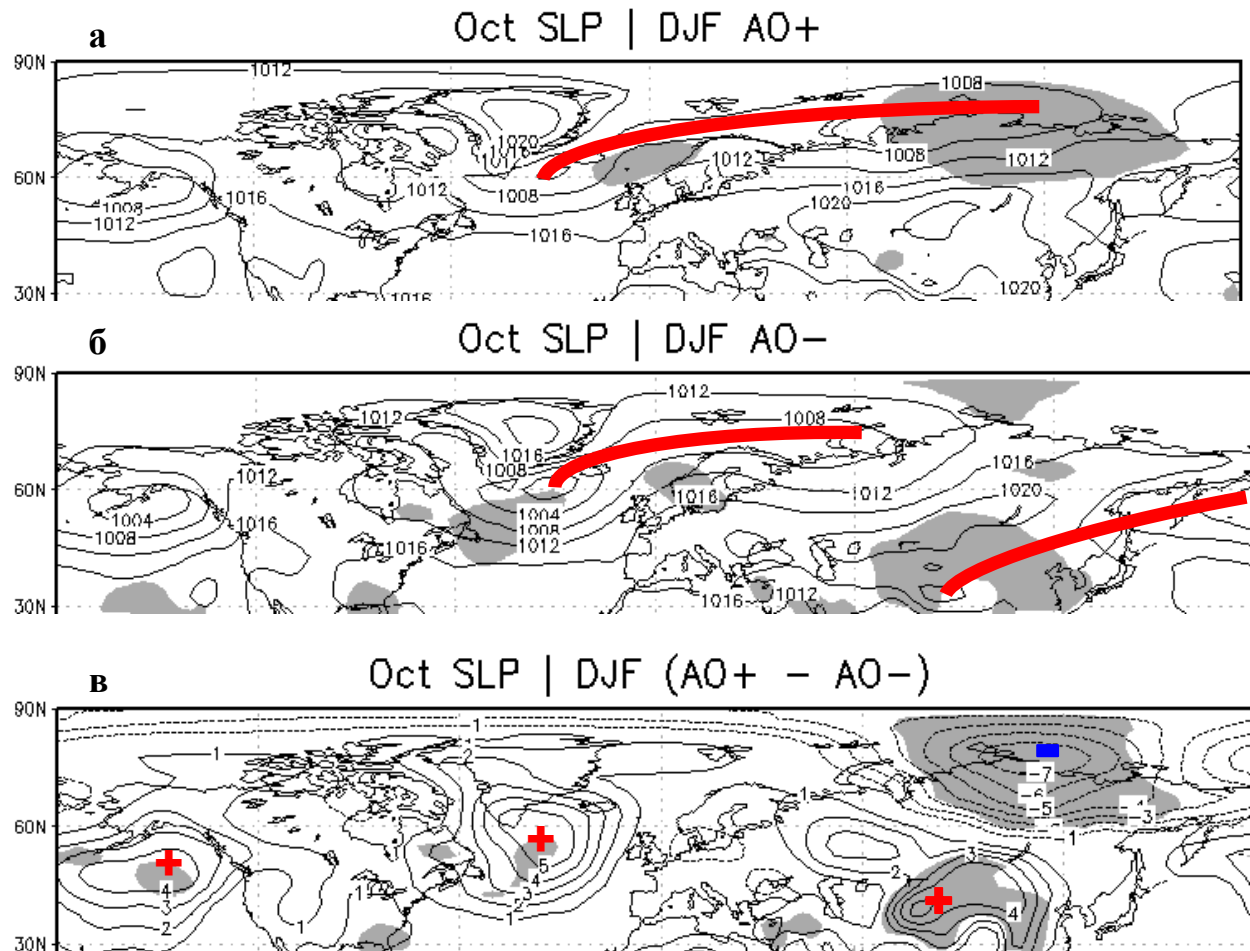
Разность композитов U и T
при EN и LN
(S+) - (S-)

По Крыжов, Park (GRL-2007)

Причина отсутствия статистически значимой связи осенних индексов ЭНЮК и зимнего индекса АО – стратосферная модуляция воздействия осеннего ЭНЮК на зимнюю фазу АО, обуславливающая неустойчивость этого воздействия во времени

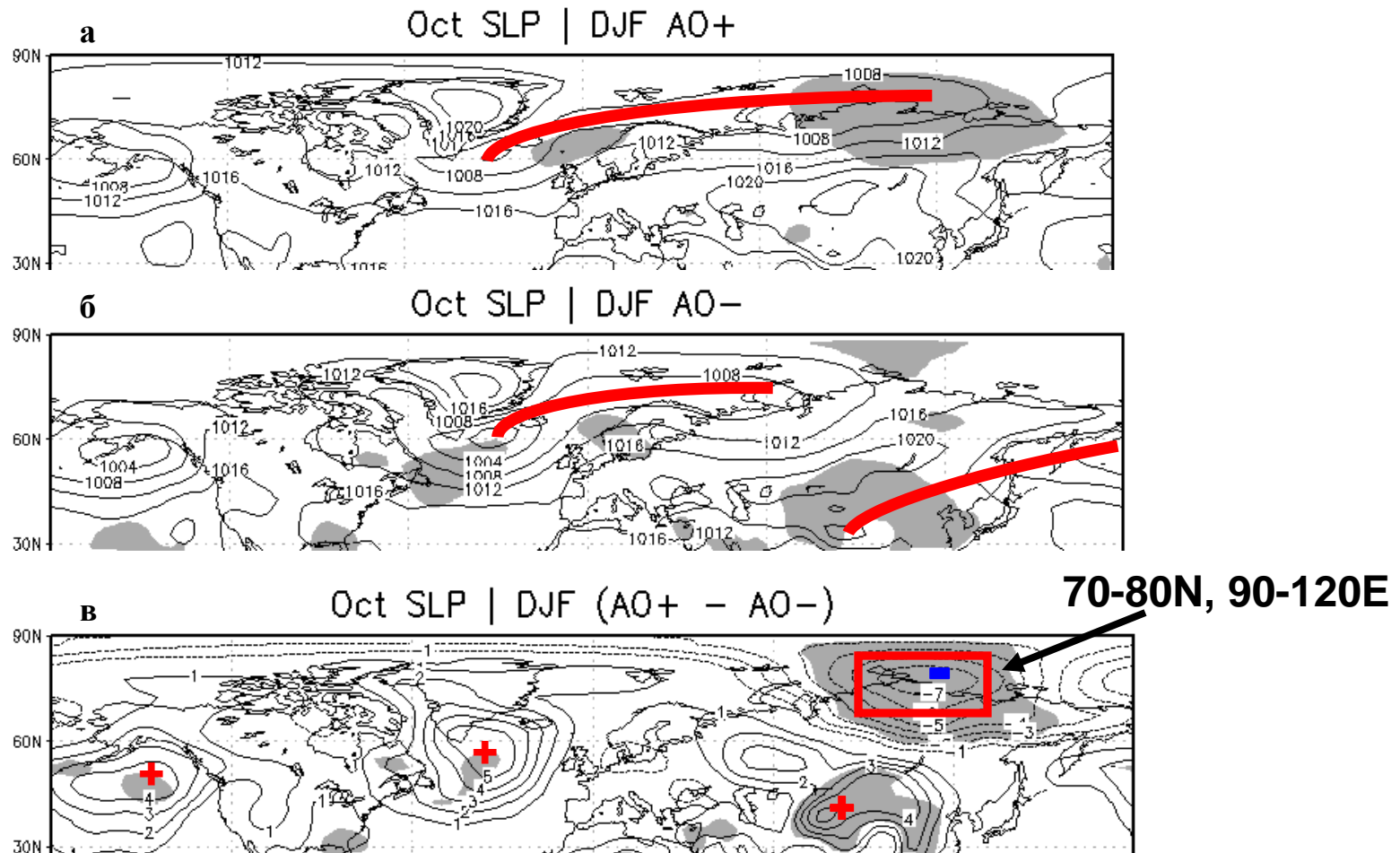
(по Kryjov, Park, GRL-2007)

Связь полярности зимнего индекса АО с октябрьской циркуляцией



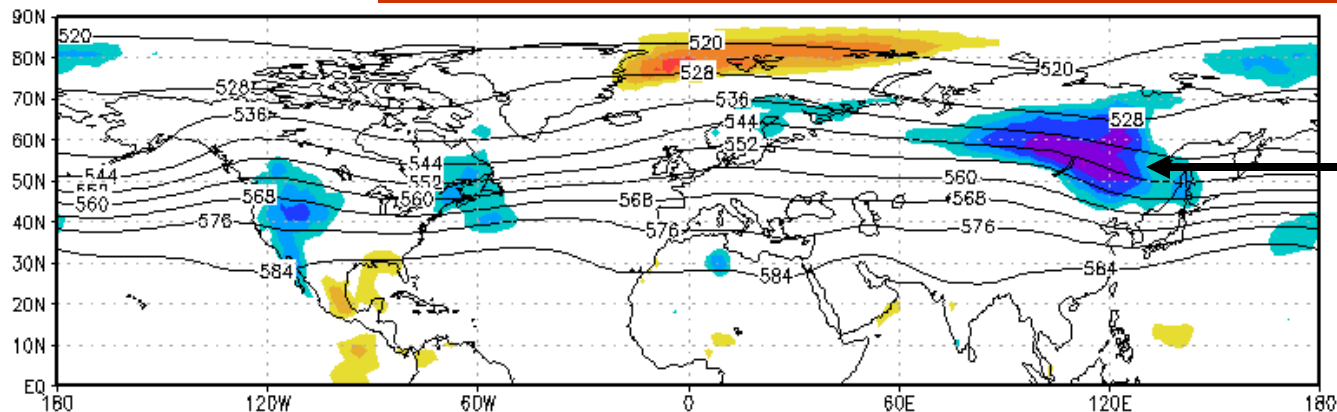
Композитные карты давления на уровне моря (гПа) в октябрях, предшествующих зимам с индексом АО > 1 (а), АО < -1 (б), и их разность (в). 9 и 8 лет из ряда 1958 – 2011 гг.

Связь полярности зимнего индекса АО с октябрьской циркуляцией



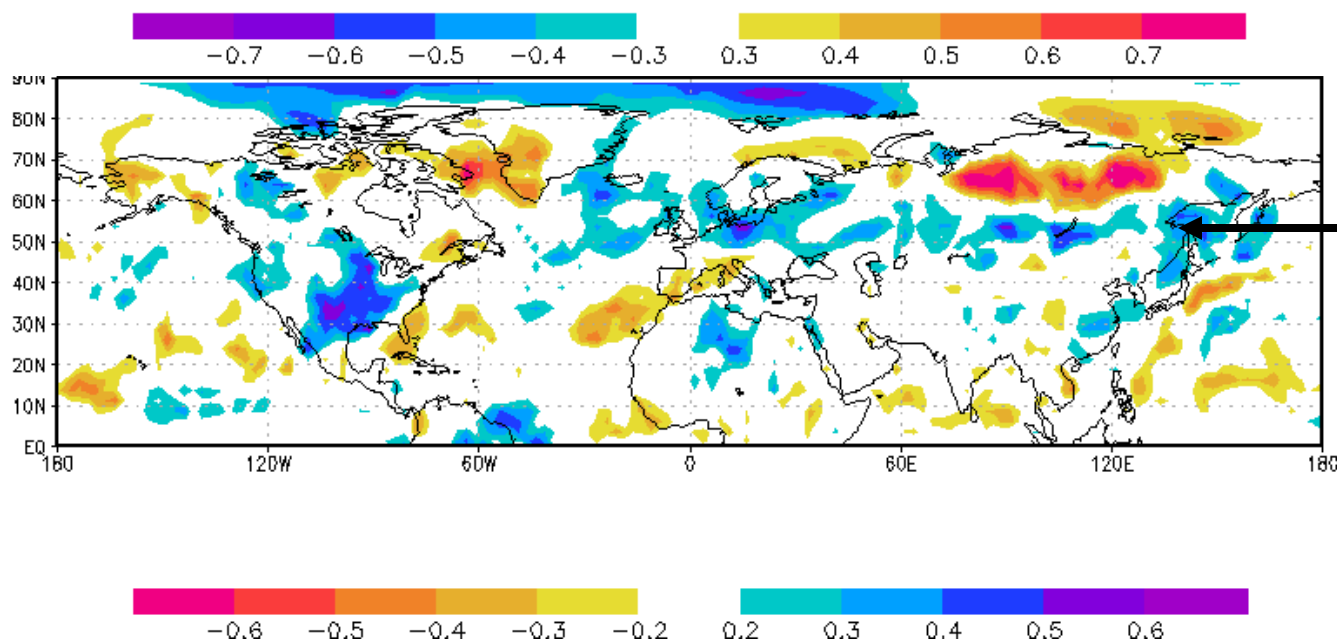
Композитные карты давления на уровне моря (гПа) в октябрях, предшествующих зимам с индексом АО > 1 (а), АО < -1 (б), и их разность (в). Ряд 1958 – 2011 г.

а



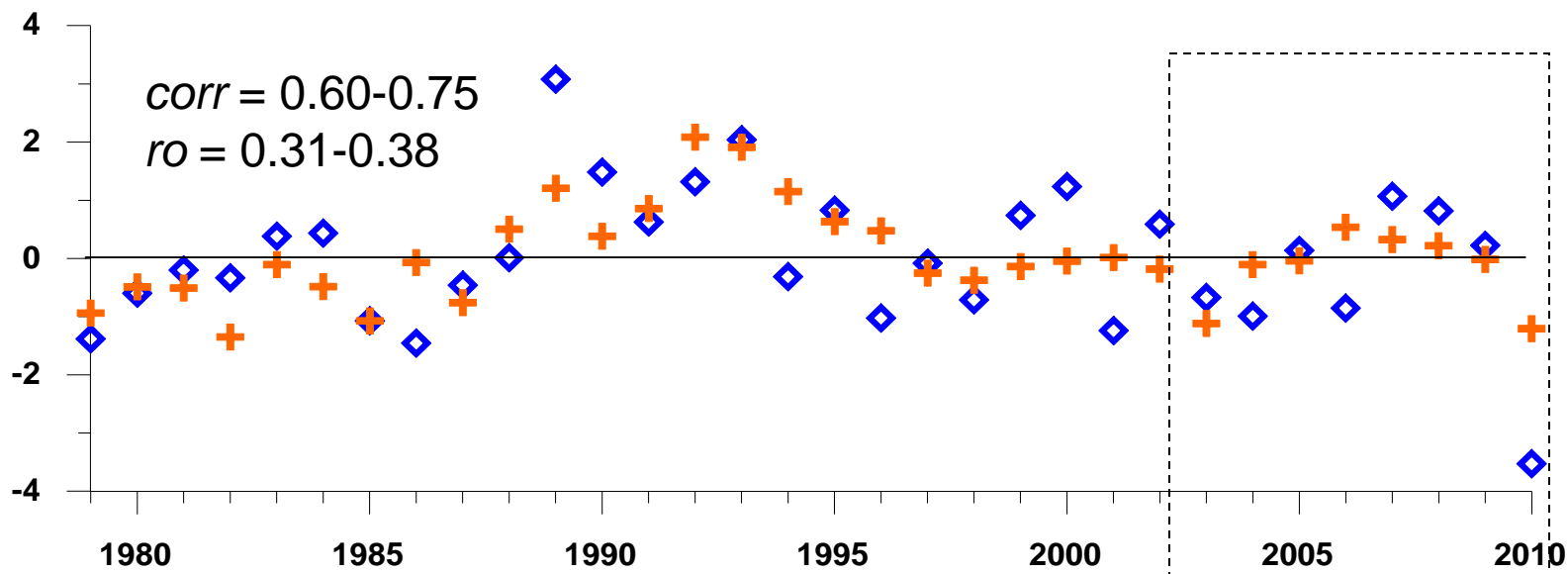
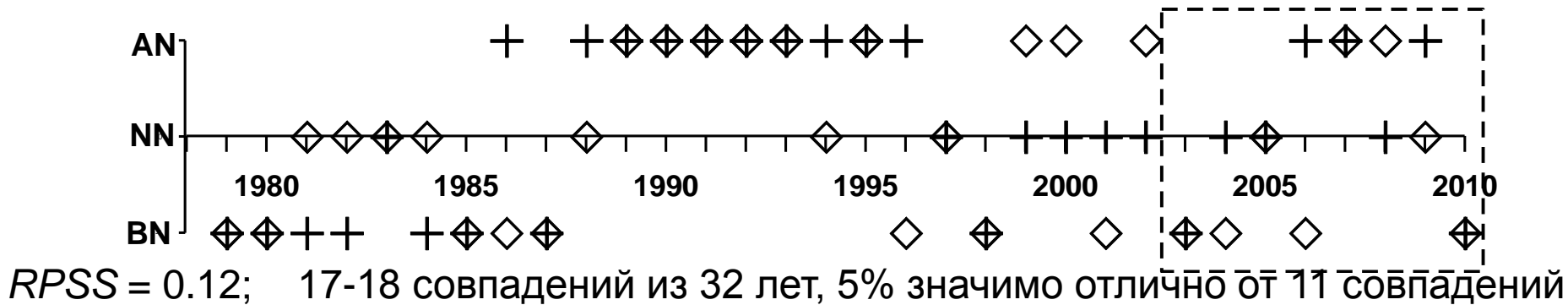
Аномальная
адвекция холода

б



Обострение
полярного
фронта

Карты коэффициентов корреляции между приземной температурой воздуха (а), количеством осадков (б) и индексом циркуляции в октябре. (1979-2010)



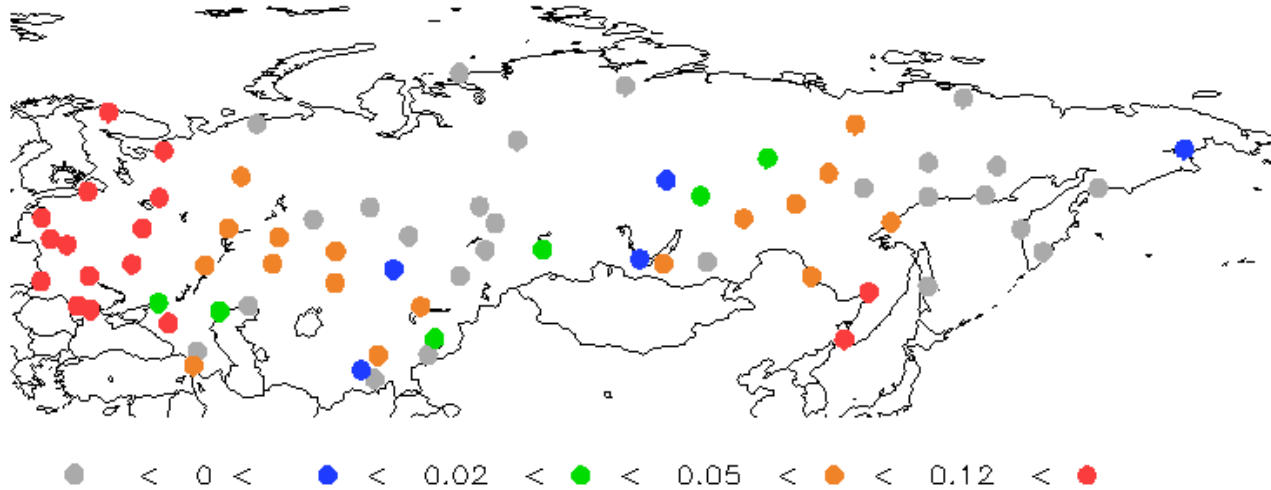
Наблюдаемые категории зимнего индекса АО (ромб) и прогнозируемые (теорема Байеса) наиболее вероятные категории зимнего индекса АО (крест).

Наблюдаемые значения зимнего индекса АО (ромб) и прогнозируемые (регрессия) наиболее вероятные значения зимнего индекса АО (крест).

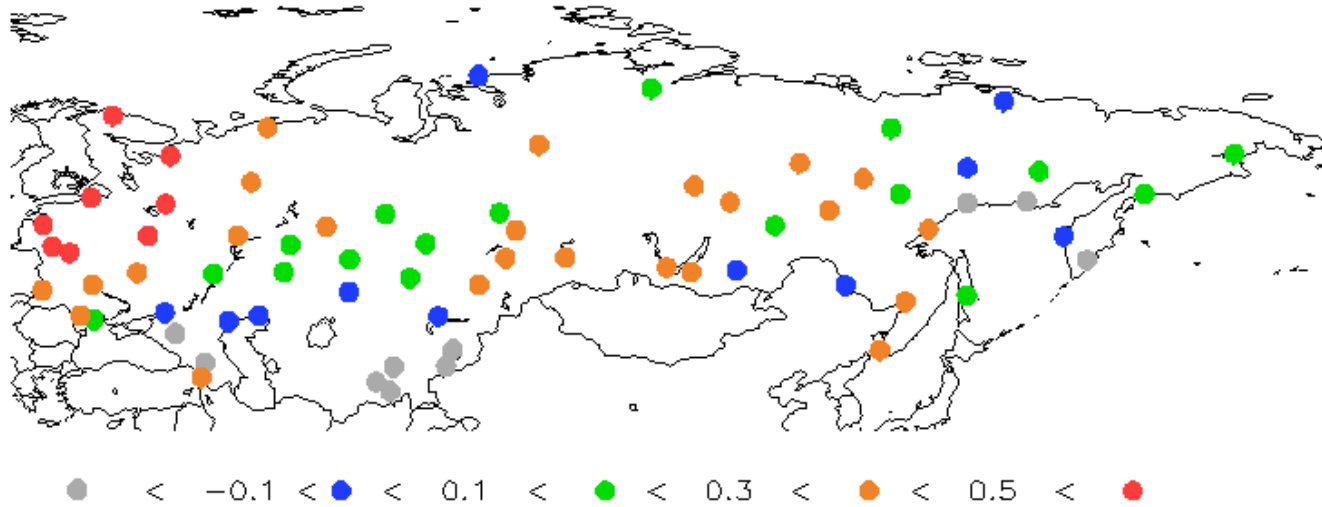
Кросс-валидированный прогноз с восемью пропущенными годами (оценки для 3-8 пропущенных лет).

(1979-2010)

RPSS



Corr



RPSS вероятностного прогноза средней зимней температуры на основе октябрьского циркуляционного индекса (теорема Байеса). $RPSS > 0.05$ (0.02) значимы на 2.5% (5%) уровне в одностороннем тесте.

Коэффициенты корреляции (конгруэнтности) между прогностическими и наблюдаемыми значениями аномалии средней зимней температуры на основе октябрьского циркуляционного индекса (регрессия)

(1979-2010)

Выводы

Стратосферная модуляция воздействия ЭНЮК на АО приводит к неустойчивости этого воздействия и статистической незначимости оценок связей.

Средняя зимняя полярность АО и связанные с ней аномалии температуры воздуха над Северной Евразией могут прогнозироваться по конфигурации европейско-азиатской ветви арктического фронта в октябре.

На эмпирическом уровне установлено, что климатическая система, «идеальная модель», стартовав с определенных октябрьских условий, с большой вероятностью приходит к соответствующим определенным зимним условиям. Следовательно, прогностическая модель, стартуя с определенных октябрьских условий, и управляемая соответствующими граничными условиями, может успешно воспроизвести соответствующие определенные зимние условия, в частности, зимнюю полярность АО и поля аномалии температуры.

ПОСТПРОЦЕССИНГ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕЗОННЫХ ПРОГНОЗОВ

Опубликованные итоги 1990-х – первой половины 2000-х

- Вероятностная интерпретация ансамблевых прогнозов



- Превосходство мультимодельного прогноза (в успешности) над прогнозами отдельных моделей за счет взаимной компенсации ошибок
- Мозаичность повышений (и понижений) успешности мультимодельного прогноза с применением весов, учитывающих успешность исторических прогнозов моделей

**ПОСТПРОЦЕССИНГ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
СЕЗОННЫХ ПРОГНОЗОВ**

**Метод глобального вероятностного
мультимодельного прогноза ARSS:**

**Метод глобального вероятностного прогноза
на основе ансамбля прогнозов моделей
с различными размерами прогностических ансамблей
и непропорциональными весами моделей
в исторических и текущих прогнозах**

(Min, Kryjov, Park, WAF-2009)

Пример мультимодельного ансамбля с непропорциональными весами моделей в исторических и текущих прогнозах и различающимися размерами прогностических ансамблей:

Модель 1 (JMA):

Ист.прогн. - 5 чл.ансамбля ежегодно,

Прогноз – 31 чл.ансамбля

Модель 2 (NCER):

Ист.прогн. - 15 чл.ансамбля ежегодно

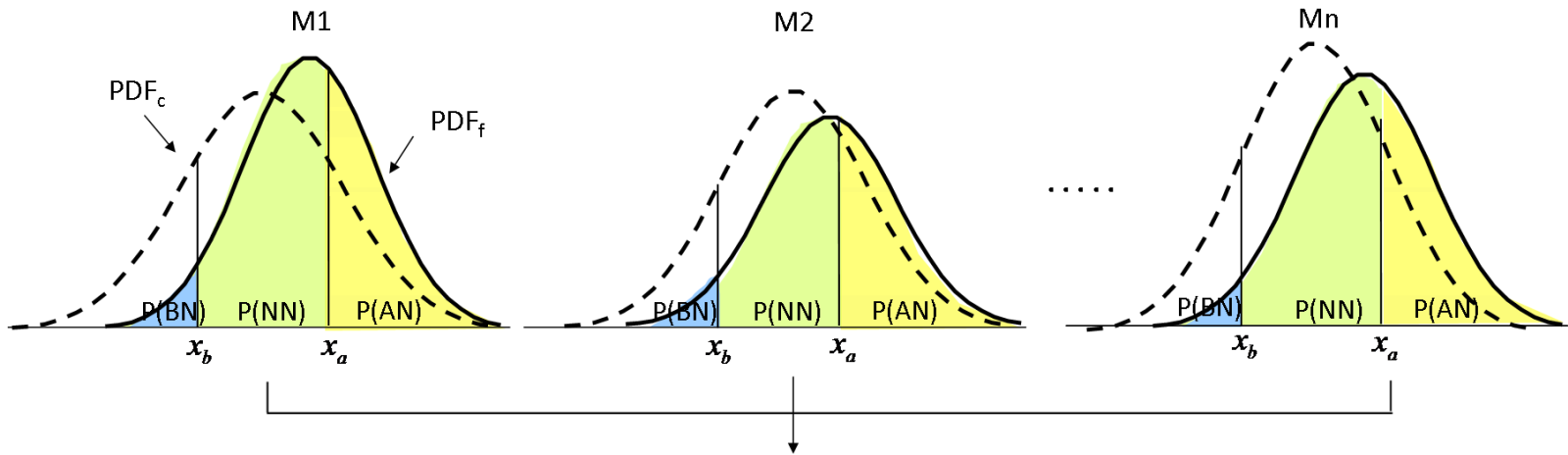
Прогноз - 15 чл.ансамбля

Наиболее распространенный метод – ПУЛИНГ – все члены ансамблей (аномалии) всех моделей объединяются в единую выборку – применять НЕЛЬЗЯ!



APCC: 15 моделей

Размеры ансамблей в хиндкастах 5-20 чл., в прогнозах - 8-31 чл.

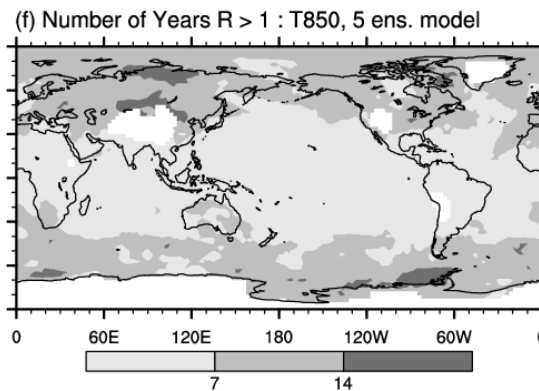
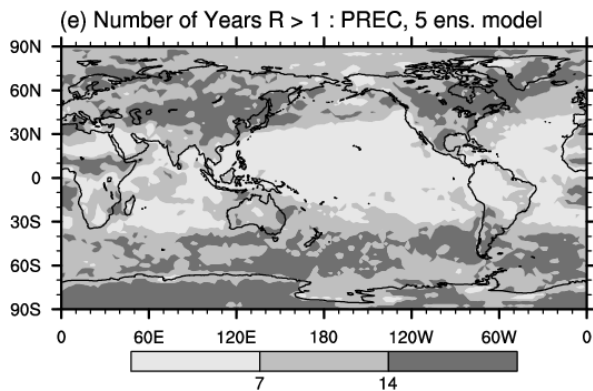
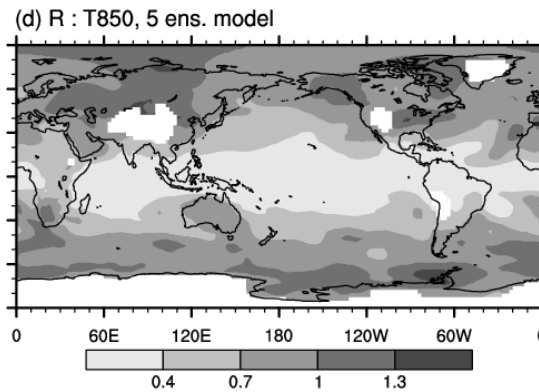
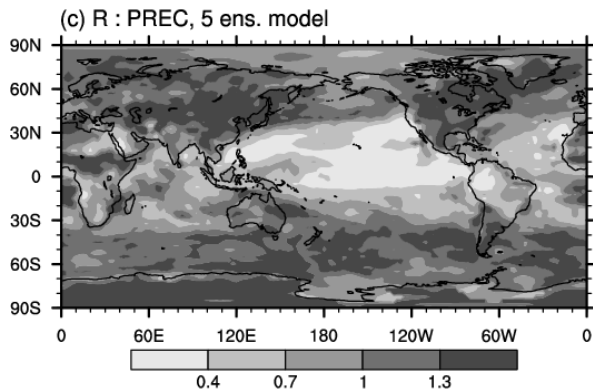
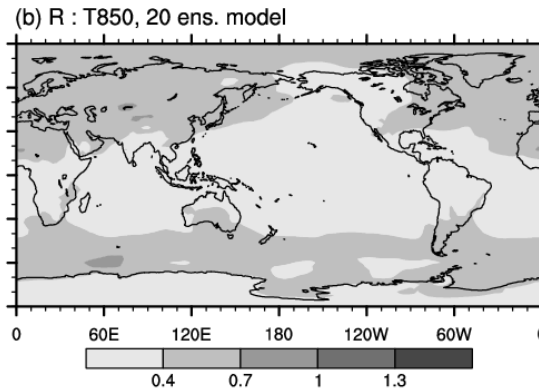
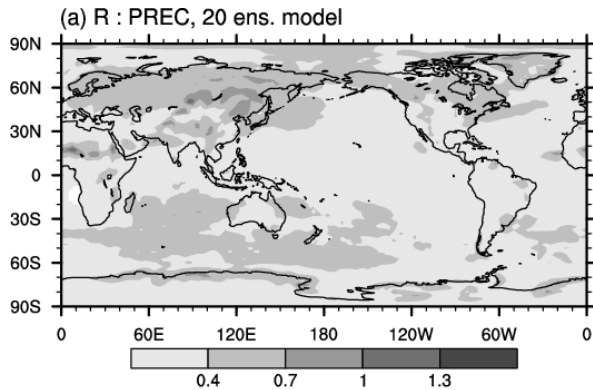


Probabilistic Multi-Model Ensemble

$$P(E_j) = \sum_{i=1}^M \underbrace{P(mdl_i)}_{\text{model weight}} \underbrace{P(E_j | mdl_i)}_{\text{forecast probability of an event}}$$

model weight forecast probability of an event

$$w_i = P(mdl_i) = ?$$



$$R = (\langle \varepsilon_{\mu}^2 \rangle / \langle \sigma_{mm}^2 \rangle)^{1/2}$$

Если $R \ll 1$

$$w = 1/M$$

M – число моделей

Если $R \gg 1$

$$w = (\varepsilon_{\mu}^2)^{-1} = n / \sigma^2$$

(по Тейлор, 1985)

Вывод:

**для глобального прогноза
ни один из вариантов
не подходит**

Среднее 21-летнее отношение R для осадков (а, с) и температуры (b, d) для моделей с ансамблем 20 членов (а, b) и 5 членов (с, d); число лет с $R > 1$

для осадков (е) и температуры (f) для модели с ансамблем 5 членов

Решение: вес моделей обратно пропорционален максимальной ошибке прогнозируемой вероятности, связанной со случайной ошибкой среднего

$$\varepsilon_{\mu} = n^{-1/2} \sigma$$

$$\varepsilon_P = f(X) \varepsilon_{\mu}$$

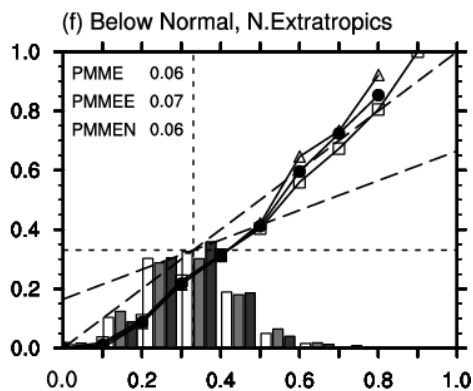
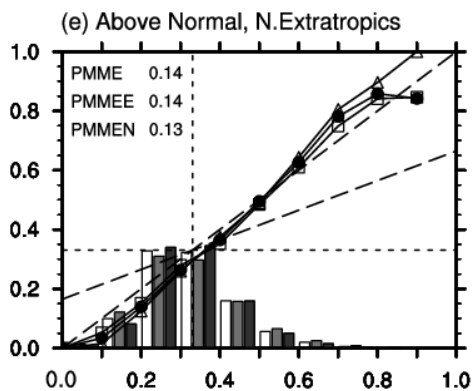
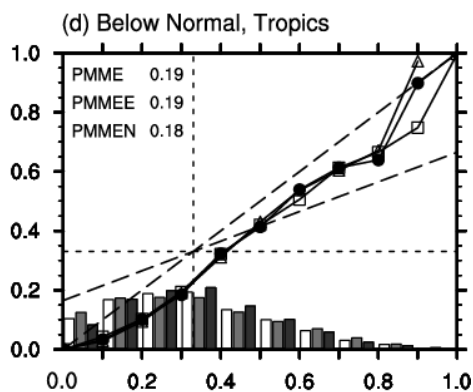
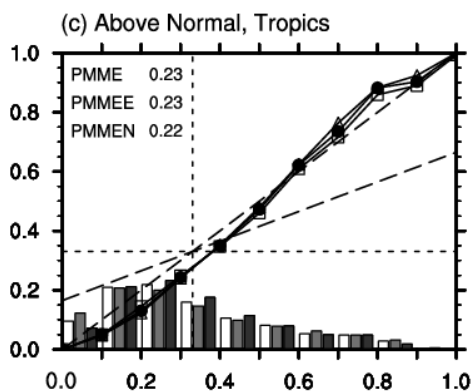
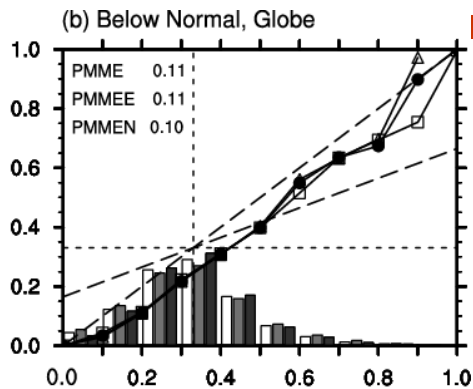
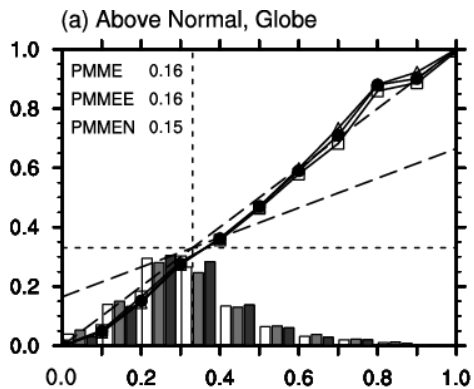
где $f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(X - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$ и $|X - \mu| < \varepsilon_{\mu} / 2$
(по теореме о среднем для интегрирования)

В диапазоне n от 5 до 31 $\exp(\dots)$ варьирует от 0.98 до 0.999 \Rightarrow *constant*

$$\varepsilon_P = \frac{\text{constant}}{\sigma} \varepsilon_{\mu} = \frac{\text{constant}}{n^{1/2}}$$

$$P(E_j) = \left(\sum_{i=1}^M n_i^{1/2} \right)^{-1} \sum_{i=1}^M n_i^{1/2} P(E_j | mdl_i)$$

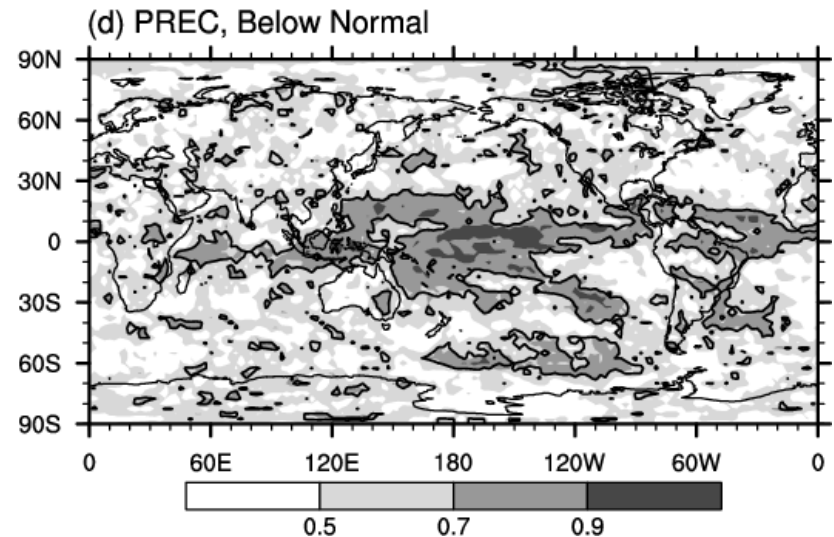
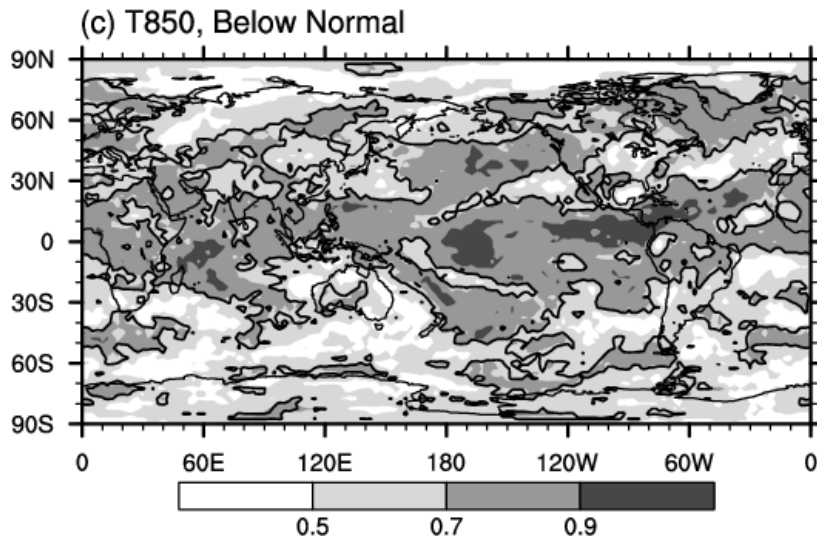
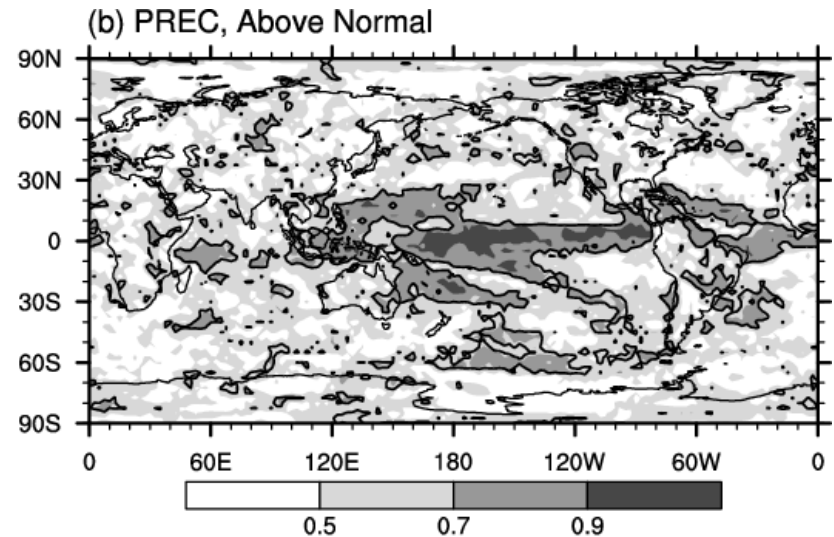
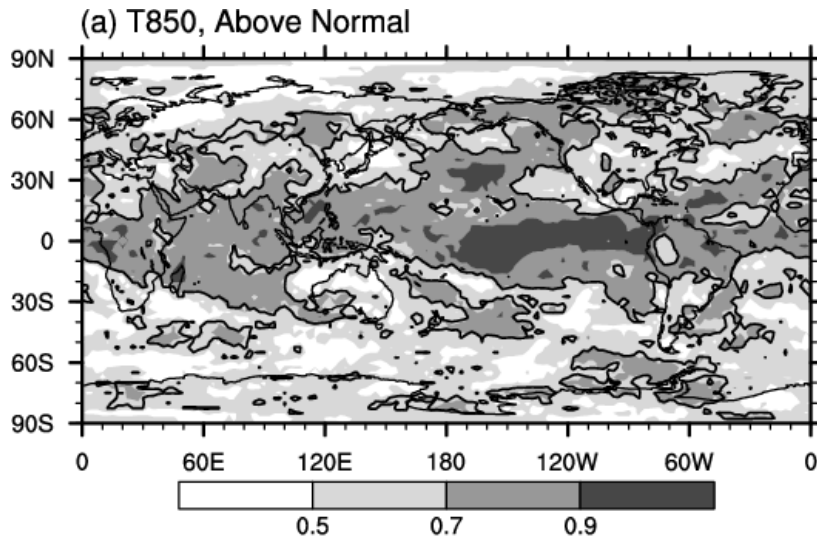
Observed Relative Frequency



● PMME □ PMMEE ▲ PMMEN

Forecast Probability

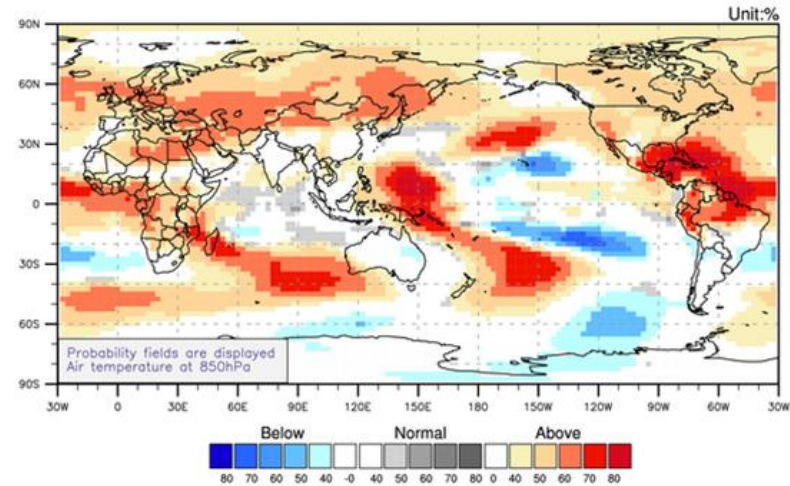
Диаграмма надежности (атрибутов) и частотная гистограмма прогнозов зимней температуры воздуха категорий AN и VN для земного шара (a, b), тропиков (c, d), северных экстратропиков (e, f) для трех методов комплексации



Показатели ROC для зимней температуры воздуха (a,c) и летних осадков (b,d) для категорий AN (a,b) и BN (c,d). Черный контур окаймляет узлы сетки, для которых показатели ROC значимы на 10% уровне.

(a) APEC Climate Center

Temperature for July-September 2011



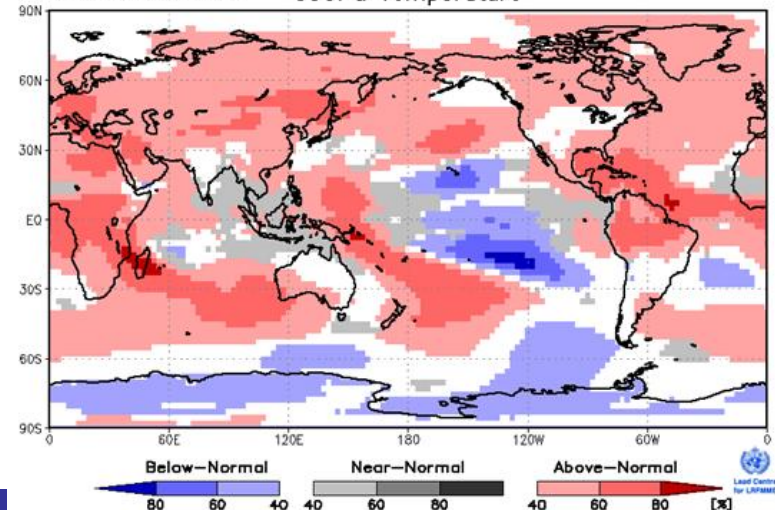
© APEC Climate Center

(b) WMO Lead Center

Probabilistic Multi-Model Ensemble Forecast

/GPC_seoul/GPC_washington/GPC_melbourne/GPC_tokyo/GPC_szstar/GPC_montreal_gcm/GPC_montreal_ens
/GPC_montreal_gcm2/GPC_montreal_gcm3/GPC_moscow/GPC_beijing

forecast time=2011:7: 2011:9: 850Pa Temperature



Lead Centre
for IAPFMS

(a) Прогноз АРСС:
публикуется на сайте центра
(<http://www.apcc21.org>) и
рассылается по электронной почте
в страны Азиатско-Тихоокеанского
региона, в том числе, в России – в
Гидрометцентр России и в ГГО;

**(b) Прогноз Ведущего Центра
ВМО по мультимодельному
прогнозированию:**
публикуется на сайте центра
(<http://wmoic.org>).

Выводы

Впервые предложено решение задачи комплексации ансамбля прогнозов моделей с различными размерами прогностических ансамблей и непропорциональными весами моделей в исторических и текущих прогнозах для разработки глобального вероятностного сезонного прогноза.

Метод на основе предложенного решения реализован в оперативной практике двух климатических центров

Недостатки метода

(общие для ВСЕХ мультимодельных методов):

- сильная зависимость от успешности моделей**
 - малая информативность во внетропических широтах**
-

ПОСТПРОЦЕССИНГ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
СЕЗОННЫХ ПРОГНОЗОВ

**МЕТОД ВЕРОЯТНОСТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ
РЕЗУЛЬТАТОВ ДАУНСКУЙЛИНГА**

**Регрессионный метод детализации
мультимодельных ансамблевых прогнозов с
вероятностной интерпретацией на основе
расчета суммарной неопределенности
прогноза, связанной с погрешностями
регрессии и разбросом ансамблей**

Прогноз имеет распределение: (по Min, Kryjov, Oh, JGR-2011)

$$Y_f \sim N(y_f, \sigma_f^2)$$

Прогноз среднего значения на основе регрессии:

$$y_f = a + bx_f$$

Неопределенность прогноза на основе регрессии, если

x_t – предиктор - точные значения

$$\sigma_f^2 = \sigma_\varepsilon^2 + \sigma_a^2 + \sigma_b^2 x_f^2 \quad \text{где} \quad \sigma_\varepsilon^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (y_t - (a + bx_t))^2}{T - 2}$$

Неопределенность прогноза на основе регрессии, если

x_t – предиктор – средние значения ансамблевых модельных прогнозов

$$\sigma_f^2 = \sigma_\varepsilon^2 + (\sigma_{a|y}^2 + \sigma_{a|x}^2) + (\sigma_{b|y}^2 + \sigma_{b|x}^2)x_f^2 + b^2 e_f^2$$

Выборочные ошибки коэффициентов регрессии (с учетом (Тейлор, 1985)):

$$\sigma_a^2 = \sigma_{a|y}^2 + \sigma_{a|x}^2 = \sum_{t=1}^T \left(\frac{\partial a}{\partial y_t} \varepsilon_t \right)^2 + \sum_{t=1}^T \left(\frac{\partial a}{\partial x_t} e_t \right)^2$$

$$\sigma_b^2 = \sigma_{b|y}^2 + \sigma_{b|x}^2 = \sum_{t=1}^T \left(\frac{\partial b}{\partial y_t} \varepsilon_t \right)^2 + \sum_{t=1}^T \left(\frac{\partial b}{\partial x_t} e_t \right)^2$$

После подстановки a и b из МНК, дифференцирования и суммирования:

$$\sigma_a^2 = \sigma_{a|y}^2 + \sigma_{a|x}^2 = \frac{(T-2)}{T^2} \sigma_\varepsilon^2 + \frac{(T-1)}{T^2} b^2 \sigma_e^2$$

$$\sigma_b^2 = \sigma_{b|y}^2 + \sigma_{b|x}^2 = \frac{(T-2)}{T} \frac{\sigma_\varepsilon^2}{\sum_{t=1}^T x_t^2} + \frac{(T-1)}{T} \frac{\sum_{t=1}^T y_t^2}{\left(\sum_{t=1}^T x_t^2 \right)^2} \sigma_e^2$$

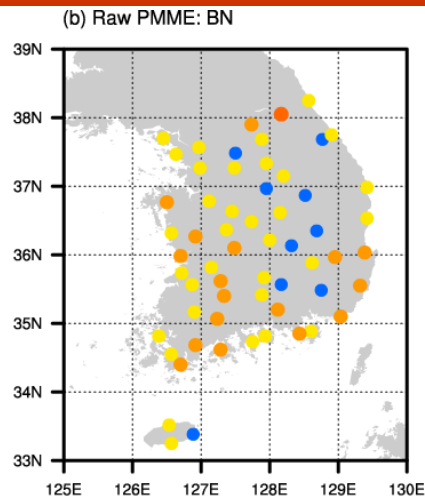
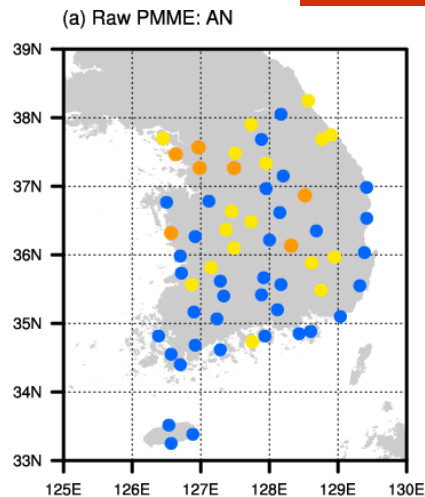
где

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T e_t^2$$

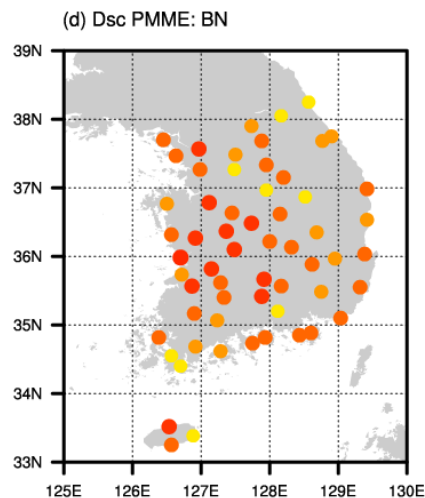
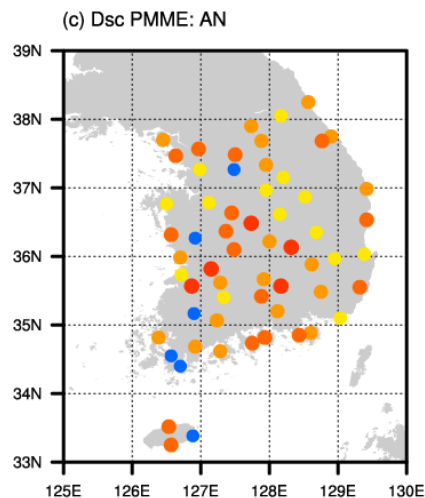
$$e_f = s_f / n_f^{1/2}$$

Вклады различных источников в суммарную неопределенность прогноза

	Температура		Осадки	
Ошибка	Среднее (%)	Мах (%)	Среднее (%)	Мах (%)
σ_{ε}^2	79	95	77	95
$\sigma_{a y}^2$	3	5	3	5
$\sigma_{a x}^2$	1	5	1	5
$\sigma_{b y}^2 x_f^2$	3	30	4	35
$\sigma_{b x}^2 x_f^2$	2	40	2	35
$b^2 e_f^2$	12	55	13	60



**Интерполированный
прогноз**



**Детализированный
прогноз**

● 0.5 < ● 0.6 < ● 0.7 < ● 0.8 < ● 0.9 < ●

Станционные показатели ROC интерполированного прогноза (Raw PMME) (a, b) и детализированного прогноза (Dsc PMME) (c, d) температуры в категориях AN и BN.

Выводы

Впервые предложен статистический метод детализации глобальных прогнозов с вероятностной интерпретацией результатов на основе регрессии не требующий инфляции. Расчет суммарной неопределенности прогноза, связанной с погрешностями регрессии и разбросом прогностического ансамбля, производится внутри процедуры регрессии.

При разработке метода было выведено уравнение для расчета неопределенности, основанное на положениях анализа ошибок.

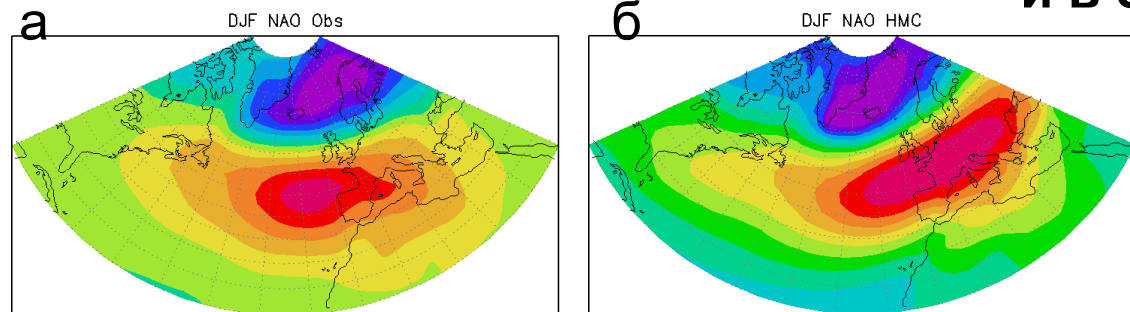
Тесты с детализированными прогнозами для 60 станций Кореи показали, что если разброс модельного ансамбля не учитывается, то суммарная неопределенность недооценивается примерно на 15%.

Детализированные вероятностные мультимодельные прогнозы, рассчитанные описанным методом, превосходят в успешности интерполированные прогнозы и температуры, и осадков.

Метод вероятностной детализации глобальных ансамблевых прогнозов атмосферного давления модели ПЛАВ для прогноза зимней температуры воздуха на территории Северной Евразии

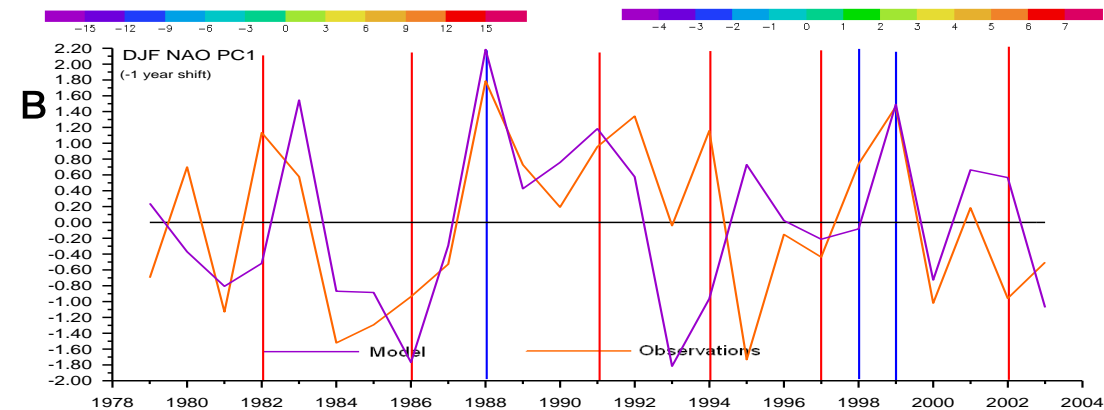
(Kryjov, ERL-2012; Крыжов, МиГ-2012)

Предварительный анализ воспроизводимости циркуляции над СП и в секторах СП моделью ПЛАВ



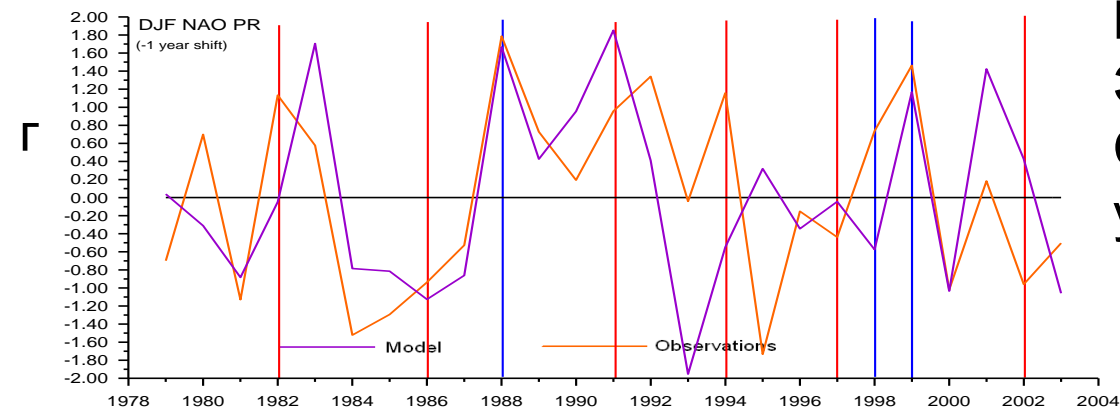
ЭОФ1 атмосферного давления над Северной Атлантикой по данным наблюдений (а) и данным моделирования (б) для зимы (ДЯФ).

Временной ход соответствующих ГК1 (в) и индексов циркуляции (г).



Вывод:

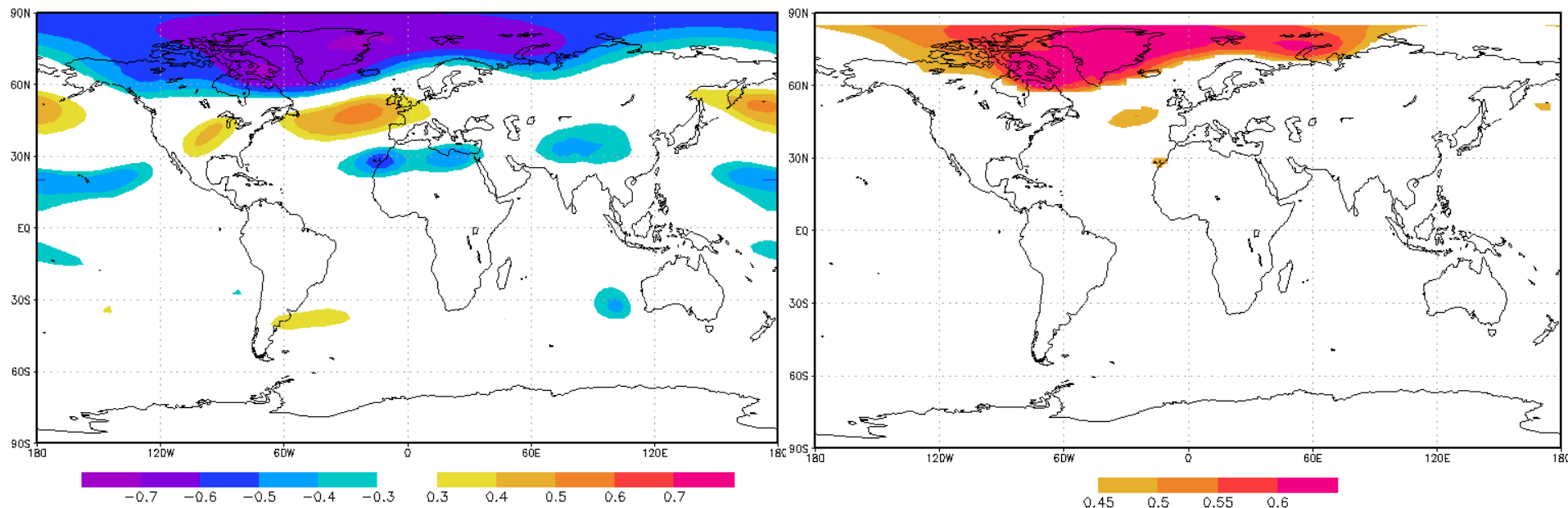
Модель ПЛАВ воспроизводит ЭОФ1 и ГК1 давления над Сев. Атлантикой достаточно успешно ($r=0.5$).



Усовершенствованные методы детализации

- Усовершенствованный отбор предикторов, включающий внутреннюю кроссвалидацию, расширенное поле поиска потенциальных предикторов
 - Прогноз температуры воздуха по предикторам, отобраным по индексу АО
 - Вероятностная интерпретация прогноза на основе регрессии
 - Вероятностный прогноз с использованием теоремы Байеса
-

К отбору предикторов для зимнего индекса АО



Коэффициенты корреляции между индексом АО в наблюдениях и модельными прогнозами давления (а), кроссвалидированными прогнозами АО по прогнозам давления (б)

Оценки исторических прогнозов среднего зимнего индекса АО
с применением разработанных методов:

RPSS превышает 0.12,

ACC = 0.65,

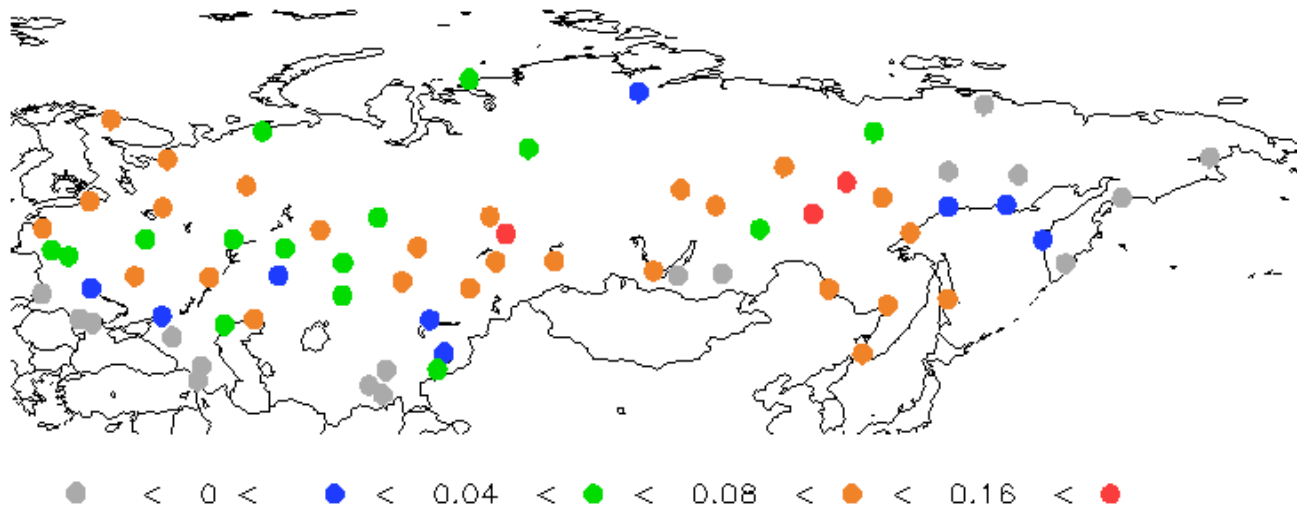
RO = 0.6

Оценки прогнозов индекса АО в реальном времени:

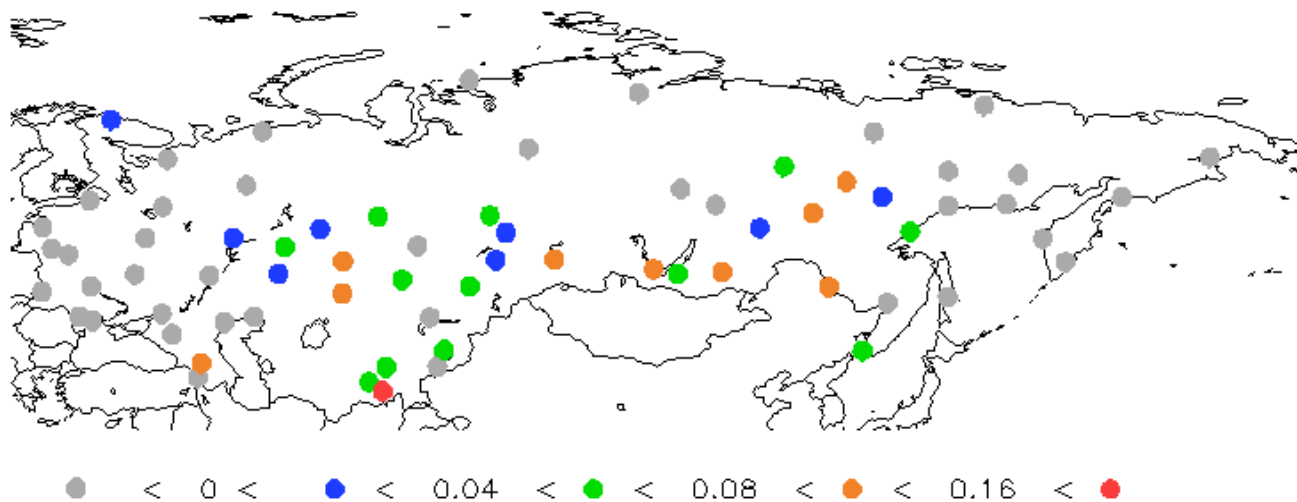
RPSS = 0.60 для регрессионного метода и 0.67 для вероятностного.

RO = 0.6

RPSS исторических прогнозов средней зимней температуры воздуха на станциях с использованием:



детализации на основе
теоремы Байеса с
отбором предикторов
по индексу АО



интерполяции на
станции из модельного
прогноза в узлах сетки

Число станций, для которых оценки **RPSS** прогнозов зимней температуры значимы на 2.5% уровне, положительны.
 Оценки **RPSS**, агрегированные по 70 станциям Северной Евразии, 23 станциям ЕТР и Западной Сибири.
 Исторические прогнозы 1979 – 2003 гг.

Метод	Число станций, для которых		Средние значения RPSS ,	
	RPSS значим	RPSS > 0	рассчитанные для	
детализации	на 2.5% уровне		Сев.Евразии	ЕТР и ЗС
Регрессионный	32	48	0.030	0.096
Вероятностный	34	52	0.049	0.087
Вероятностный-АО	29	53	0.051	0.088
Интерполяция	11	30	-0.045	-0.062
Kang и др. (2009)	18	26	-0.020	0.019

Число станций, для которых оценки **RPSS** прогнозов зимней температуры значимы на 2.5% уровне, положительны. Оценки **RPSS**, агрегированные по 70 станциям Северной Евразии, 23 станциям ЕТР и Западной Сибири. Прогнозы в реальном времени, зимы 2006/07 – 2010/11 гг.

Метод детализации	Число станций, для которых		Средние значения RPSS ,	
	RPSS значим на 2.5% уровне	RPSS > 0	рассчитанные для Сев.Евразии и	ЕТР и ЗС
Регрессионный	16	45	0.168	0.242
Вероятностный	14	51	0.155	0.251
Вероятностный АО	22	47	0.192	0.278
Интерполяция	3	47	0.071	0.069
Kang и др. (2009)	9	37	0.114	0.156

Выводы

Разработано семейство методов вероятностной детализации глобальных одно- и мультимодельных прогнозов, сочетающих систему отбора предикторов на основе внутренней кроссвалидации и вероятностную интерпретацию детализированных прогнозов.

Результаты верификации показывают преимущество прогнозов, рассчитанных и применением детализации глобальных модельных прогнозов, по сравнению с прогнозами, интерполированными из узлов сетки глобальных модельных прогнозов.

По результатам испытаний с использованием исторических прогнозов, и прогнозов в реальном времени постобработка сезонных модельных прогнозов модели ПЛАВ с применением технологий детализации выводит успешность прогнозов средней сезонной зимней температуры на станциях большей части Северной Евразии на тот уровень, который делает целесообразным практическое применение этих прогнозов.



Основные результаты

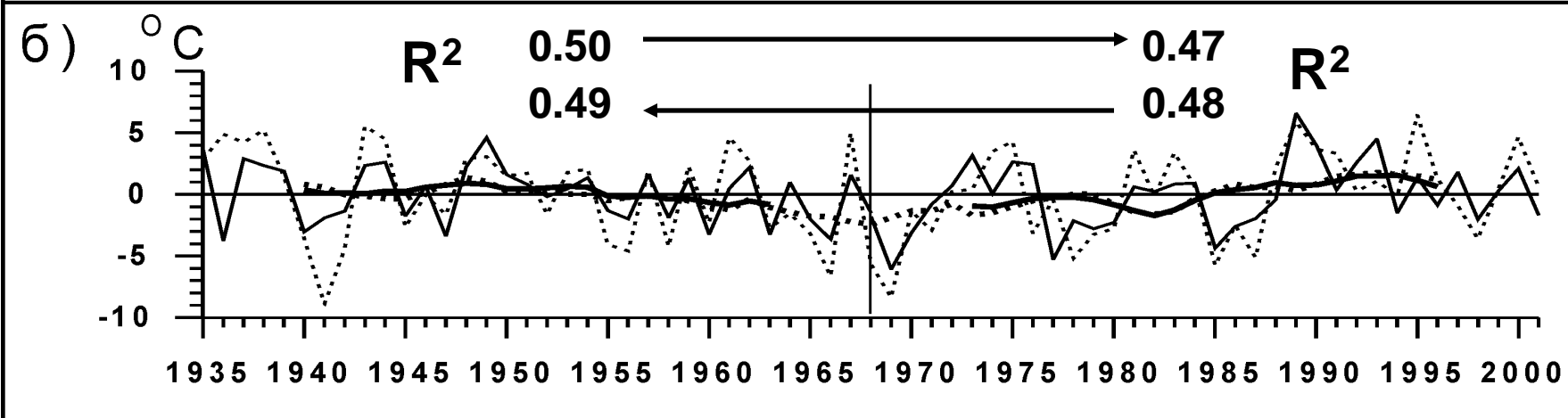
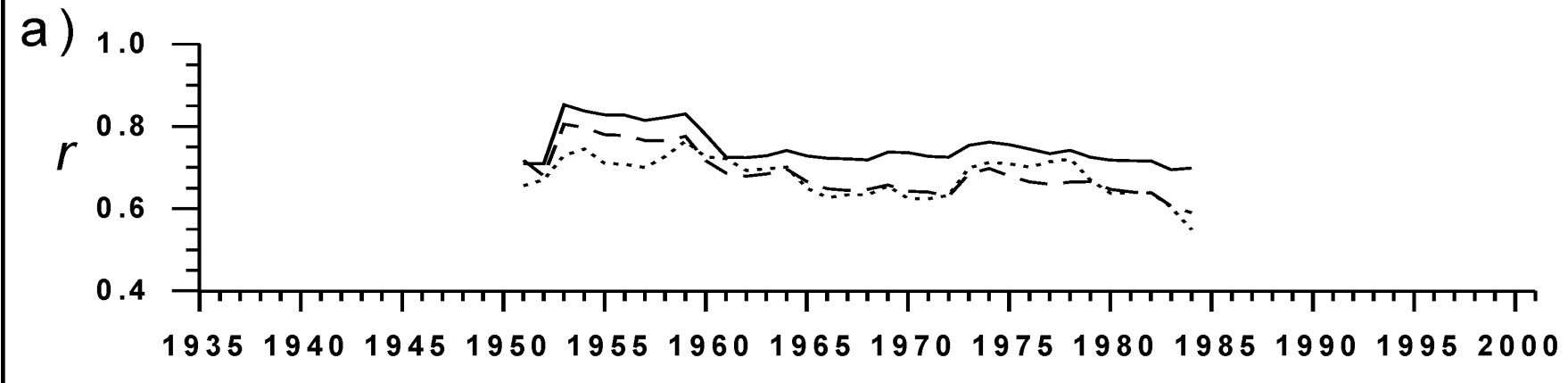
- Показано влияние и механизмы влияния зимней АО на атмосферные процессы в последующие месяцы вплоть до ноября;
- Оценен вклад изменчивости зимней зональной циркуляции в изменчивость средней годовой температуры воздуха;
- Показан механизм стратосферной модуляции влияния ЭНЮК на АО;
- Показаны механизмы, обеспечивающие прогнозируемость зимней АО;
- Решена задача вероятностной интерпретации для мультимодельного ансамбля с непропорциональными весами моделей в исторических и текущих прогнозах и различающимися размерами прогностических ансамблей;
- Предложен регрессионный метод детализации глобальных прогнозов с вероятностной интерпретацией, не требующий инфляции;



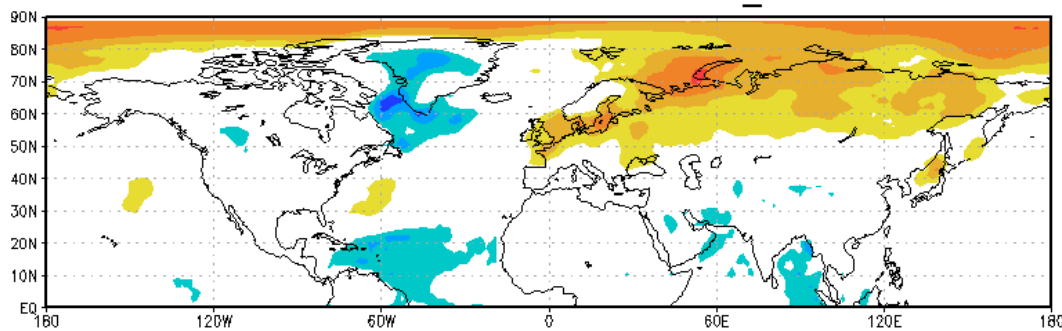
Практическое применение:

- предложен и внедрен в оперативную практику в двух климатических центрах метод статистического постпроцессинга с вероятностной интерпретацией для мультимодельного ансамбля с непропорциональными весами моделей в исторических и текущих прогнозах и различающимися размерами прогностических ансамблей – прогнозы, разработанные этим методом поступают в Гидрометцентр России и ГГО;
- разработан метод детализации глобальных мультимодельных сезонных прогнозов с вероятностной интерпретацией на основе технологии, не требующей инфляции;
- разработан метод прогноза зимней фазы АО и температуры воздуха на территории Северной Евразии с вероятностной интерпретацией на основе детализации глобальных сезонных прогнозов давления модели ПЛАВ – готов к внедрению в СЕАКЦ.

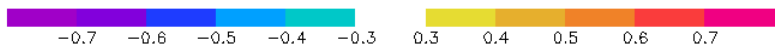
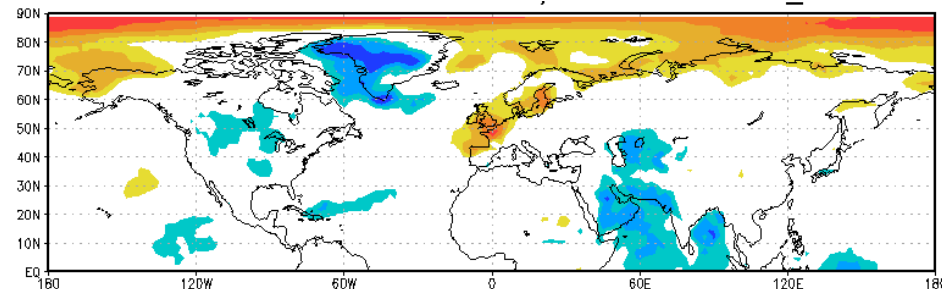
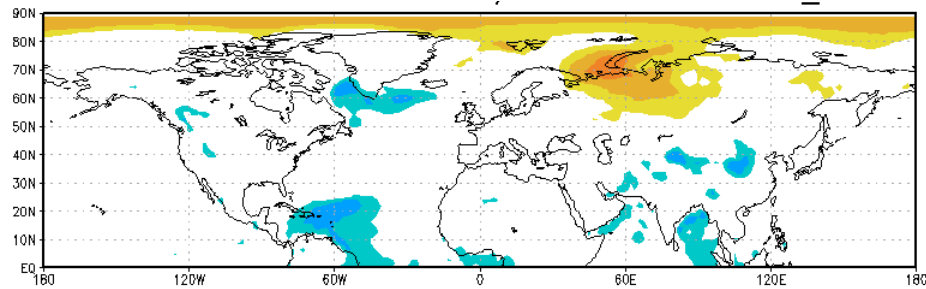
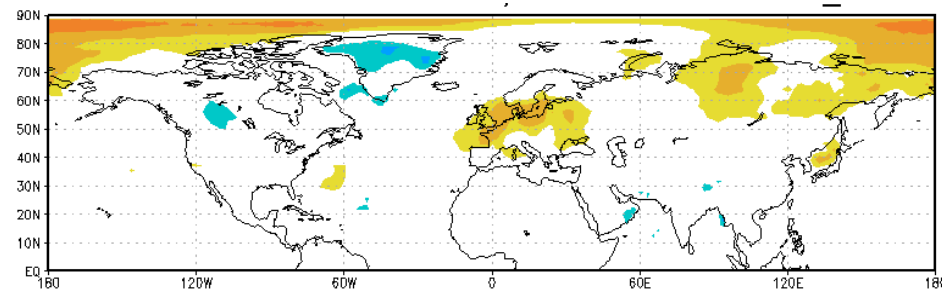
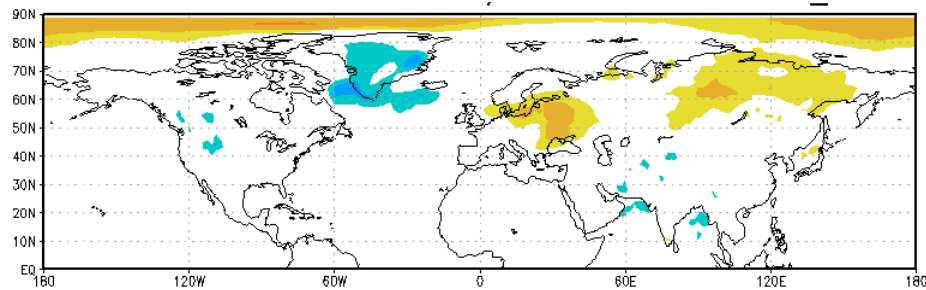
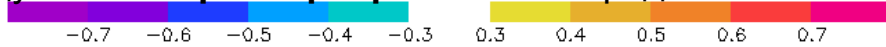
СПАСИБО



Коэффициенты корреляции между ГК1 средней годовой температуры воздуха и $AO_{ЯФ}$ (сплошная линия), $AO_{ЯФМ}$ (штрих), $AO_{Г}$ (пунктир), рассчитанные по скользящим 33-летним выборкам (а). Первый главный компонент средней годовой температуры воздуха по данным наблюдений (тонкий пунктир) и рассчитанный по $AO_{ЯФ}$ для верификационных периодов (сплошные тонкие линии) (б). Соответствующие скользящие 11-ти летние средние (пунктирная и сплошные жирные линии). Вертикальная линия – 1968 г. – пересечение верификационных периодов (1935 – 2001 г., 67 лет)



Коэффициенты корреляции между **мартовско-июньскими** средними значениями температуры воздуха и **январско-февральскими** средними значениями **индекса АО**



Частная корреляция **мартовско-июньских** средних значений температуры воздуха и **январско-февральских** средних значений **индекса АО** при **исключении** влияния

ТПО Баренцева моря

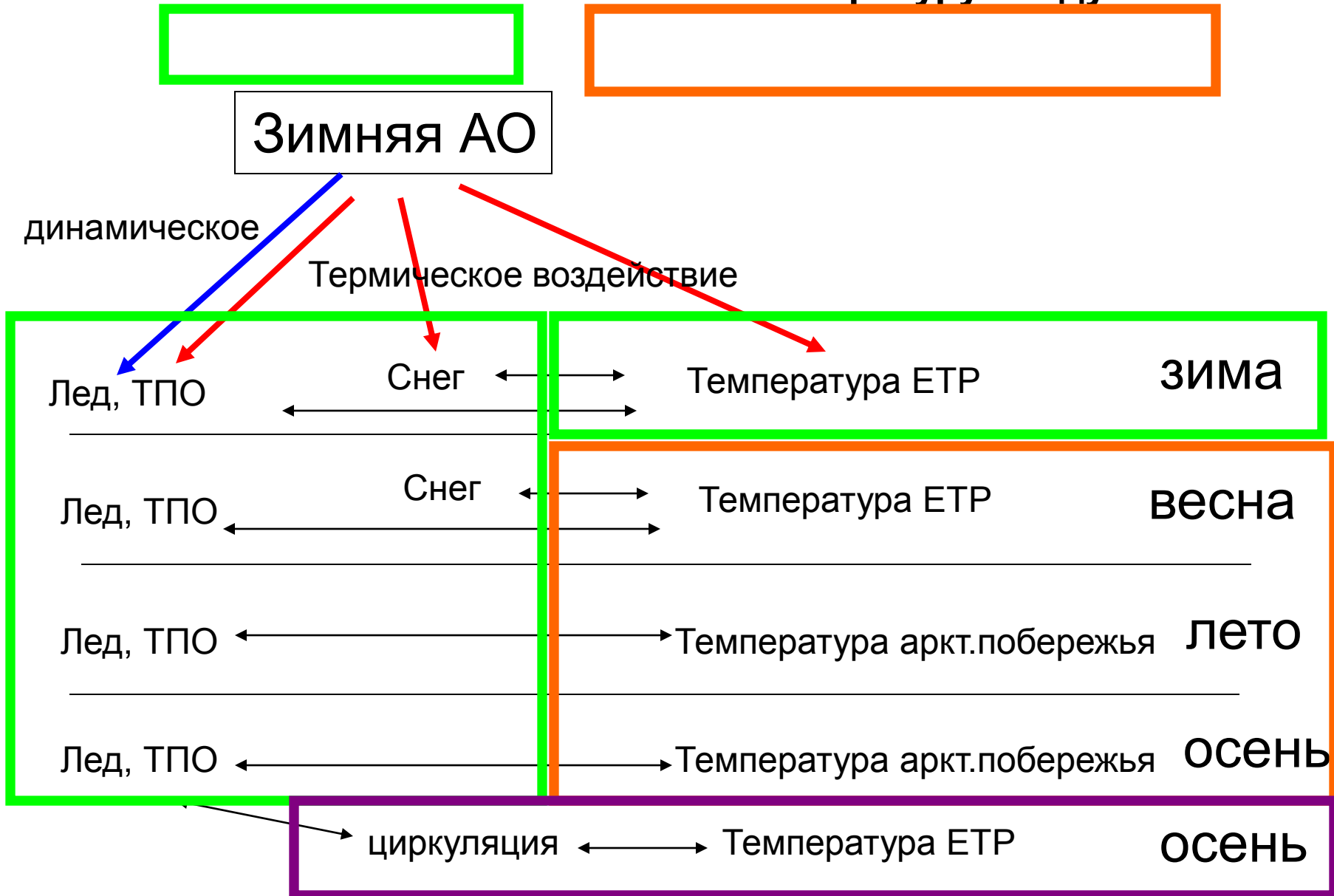
ТПО Балтийского моря

площади льда в Баренцевом море

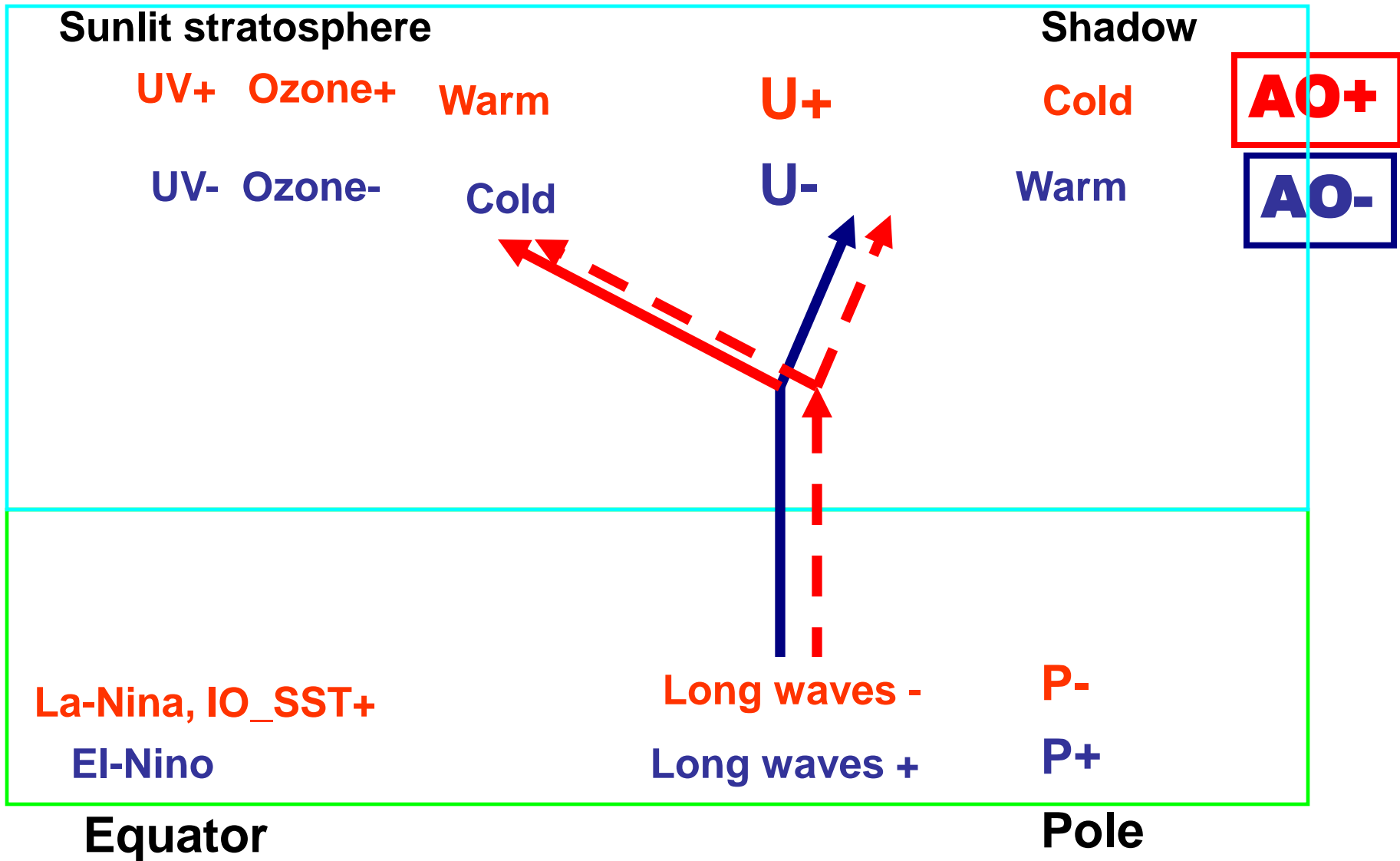
площади снежного покрова в Евразии



Схема влияния зимней АО на температуру воздуха ЕТР

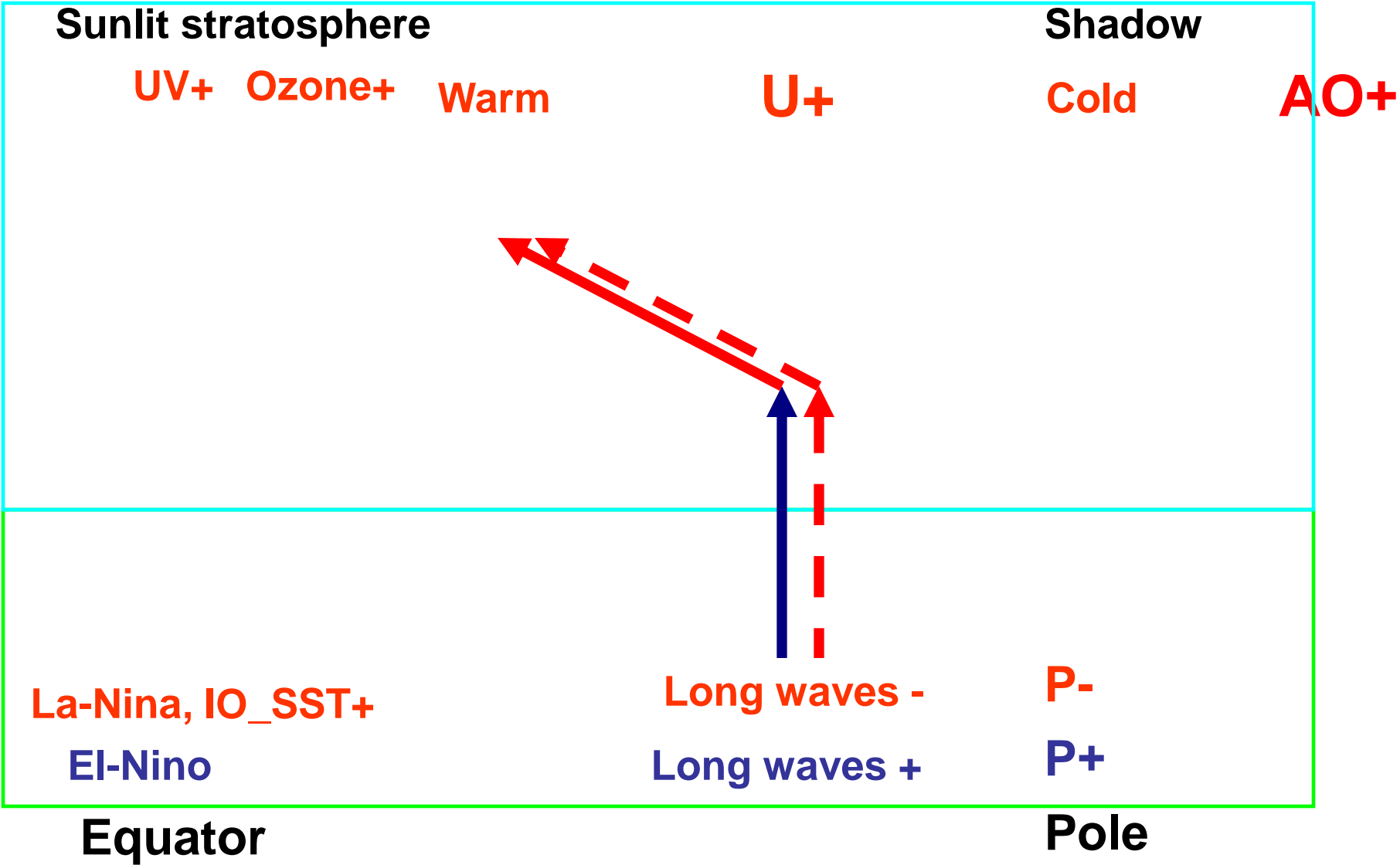


Scheme of the influences on the wintertime NAM

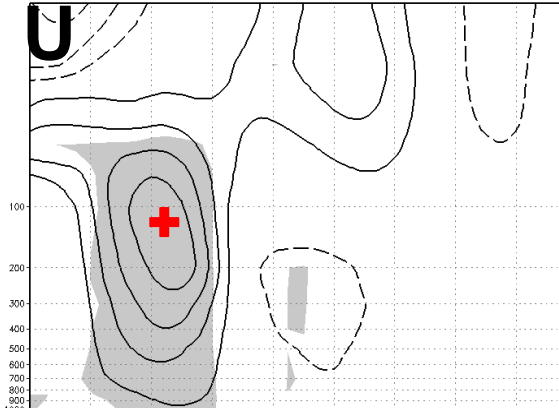




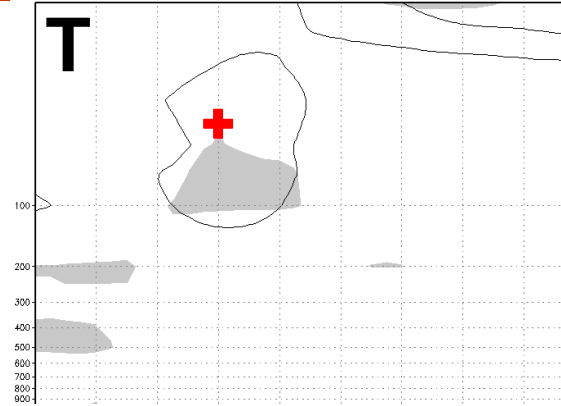
Scheme of the influences on the wintertime NAM when S+



DJF U(Smax(Warm-Cold))



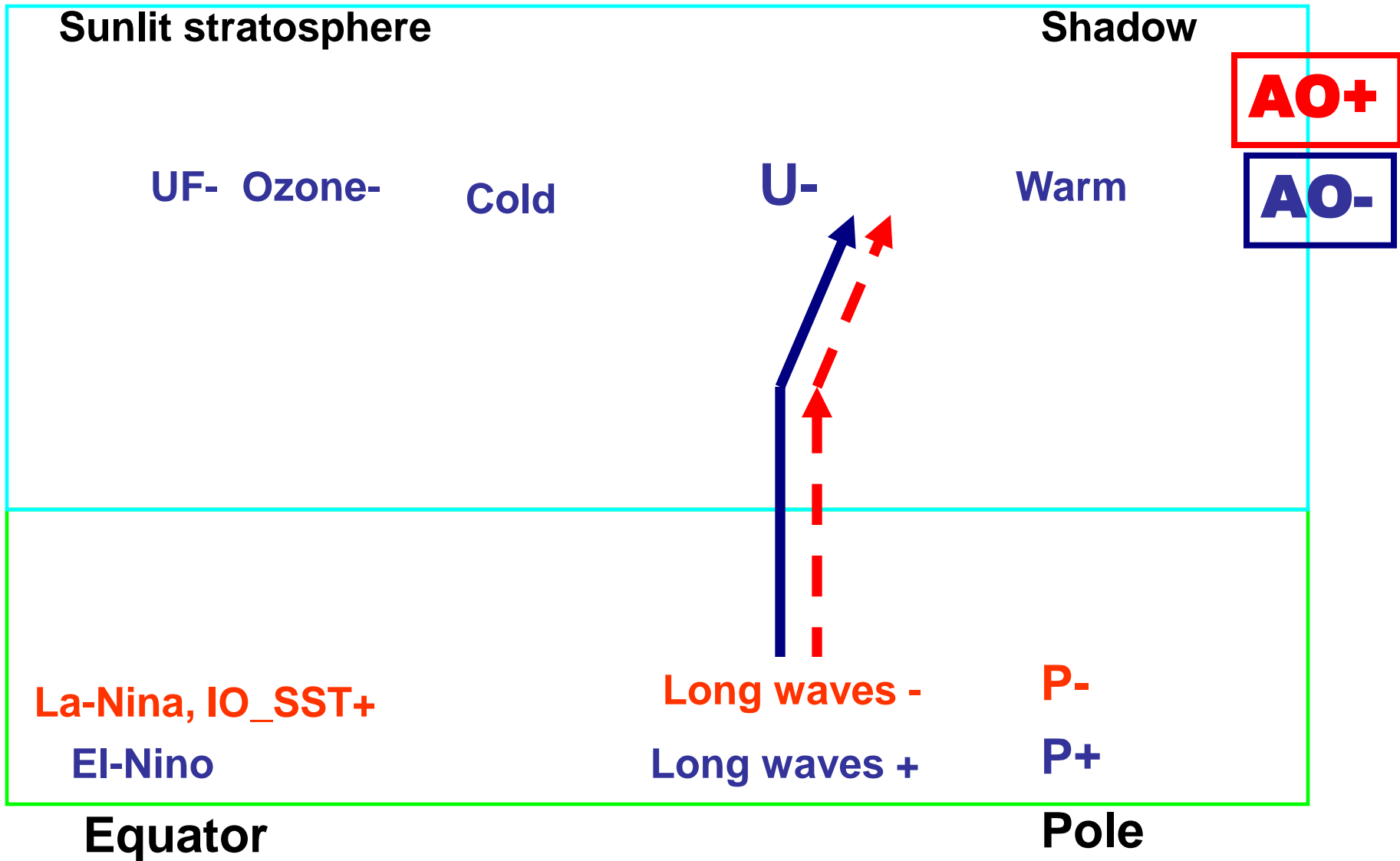
DJF T(S+ N3+_N3-)



**Difference
in composites of U & T
During EN and LN
(EN-LN)
S+**

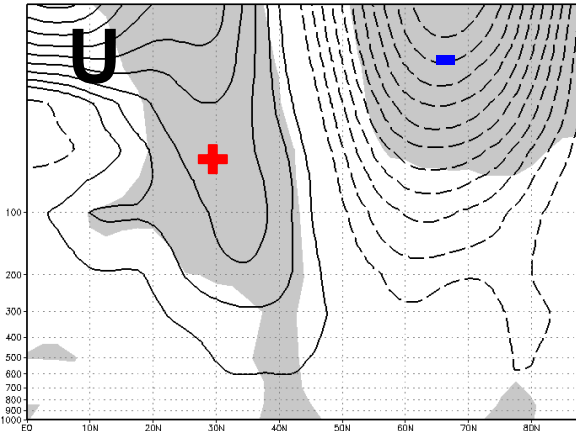
Kryjov, Park (2007)

Scheme of the influences on the wintertime NAM when S-

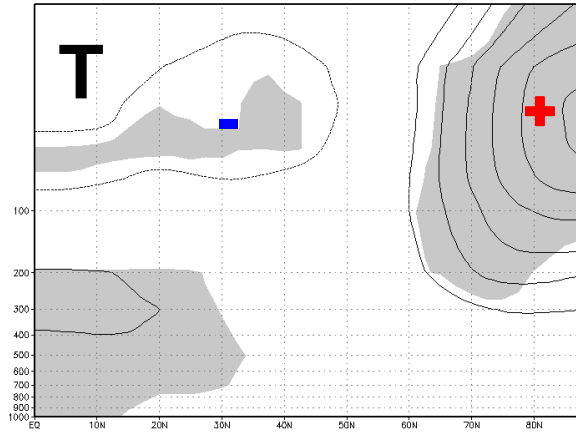




DJF U(Smin(Warm-Cold))



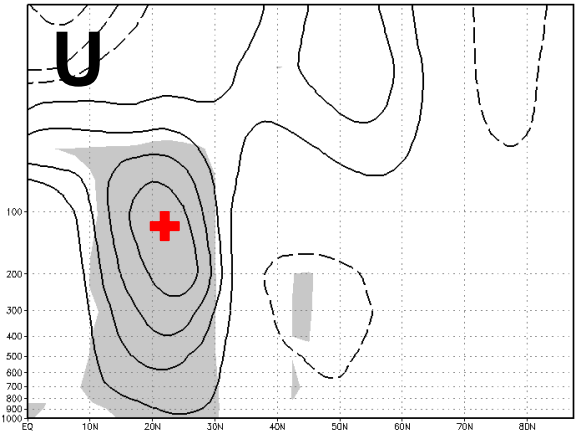
DJF T(S- N3+_N3-)



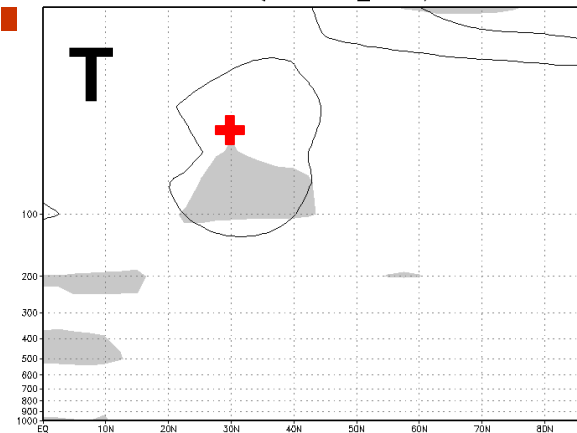
**Difference
in composites of U & T
During EN and LN
(EN-LN)
S-**

Kryjov, Park (2007)

DJF U(Smax(Warm-Cold))

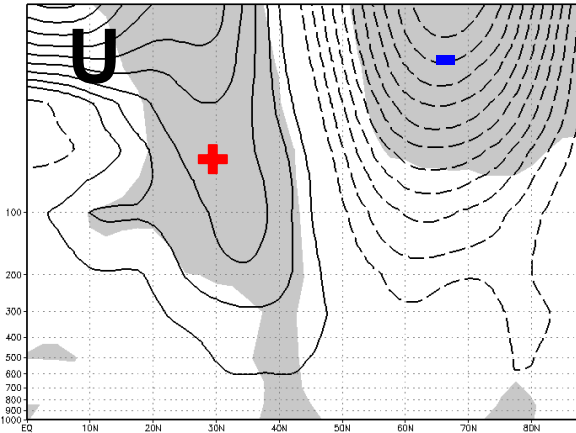


DJF T(S+ N3+_N3-)

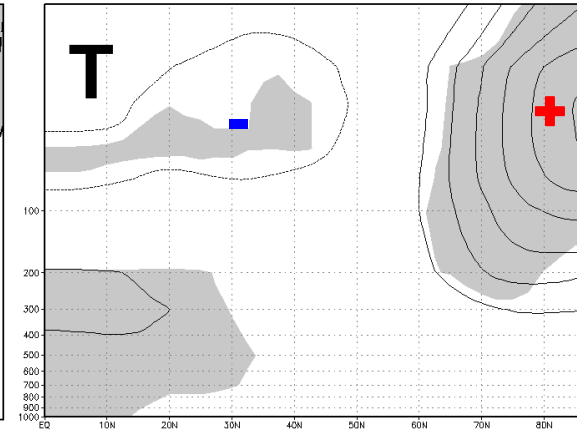


**Difference
in composites of U & T
During EN and LN
(EN-LN)
S+**

DJF U(Smin(Warm-Cold))

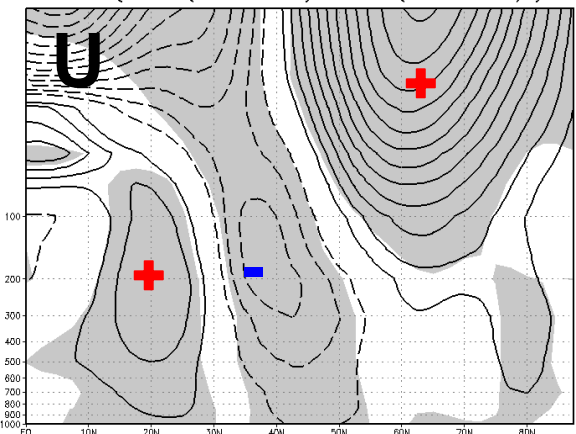


DJF T(S- N3+_N3-)

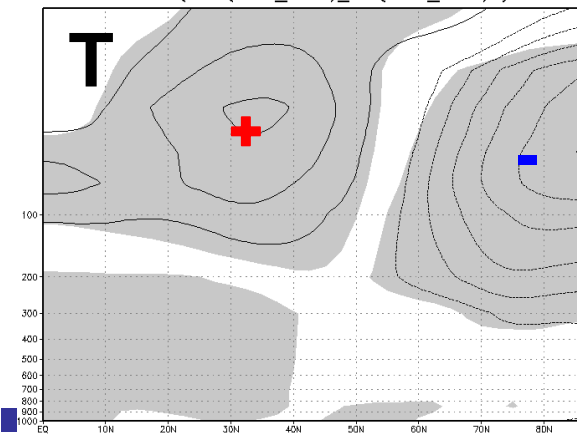


**Difference
in composites of U & T
During EN and LN
(EN-LN)
S-**

DJF U(Smax(Warm-Cold) - Smin(Warm-Cold))



DJF T(S+(N3+_N3-)-S-(N3+_N3-))



**Difference
(S+) - (S-)**

Kryjov, Park (2007)

стратосферная модуляция воздействия осеннего ЭНЮК на зимнюю АО

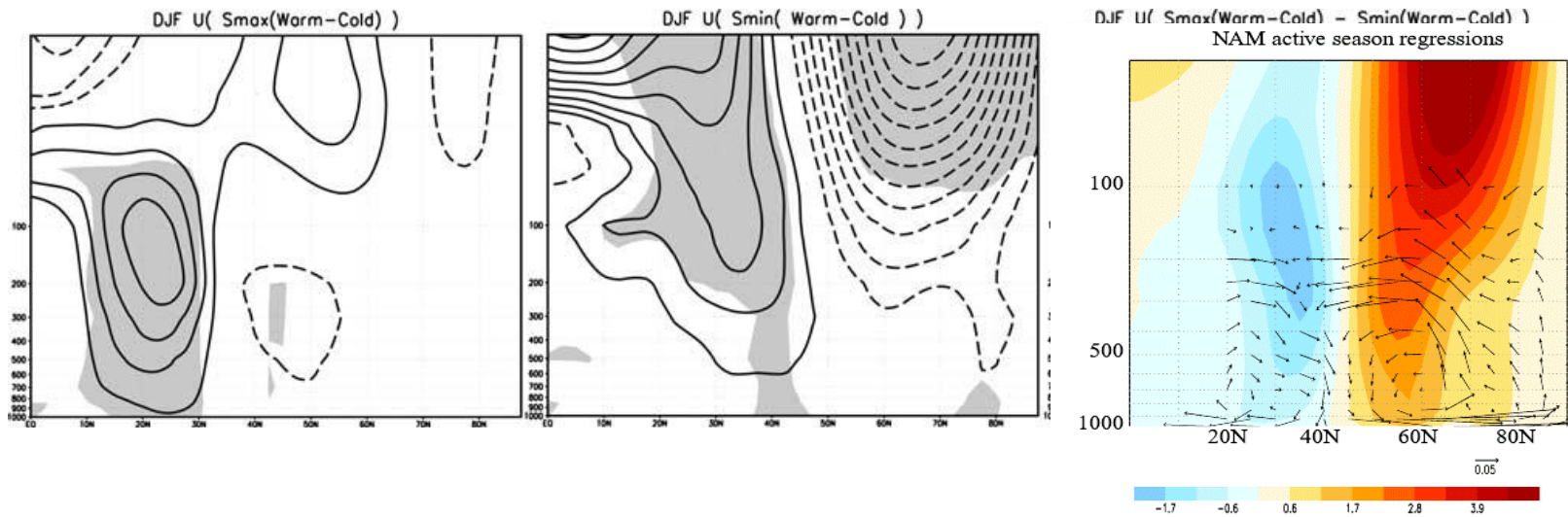


Fig. 4. Difference between the Sep.–Jan. cold and warm ENSO composites of DJF zonal mean zonal wind during (left) solar maxima, (middle) solar minima, and (right) the difference between them. Contour interval is 1 m/s, negative values are dashed, the 0 value is omitted. The area where the difference is significant at the 2.5% level is shaded (From Kryjov and Park, 2007).

Zonal wind (m/s) and mean meridional circulation anomalies (m/s; cm/s) regressed on January-March values of the NAM index.

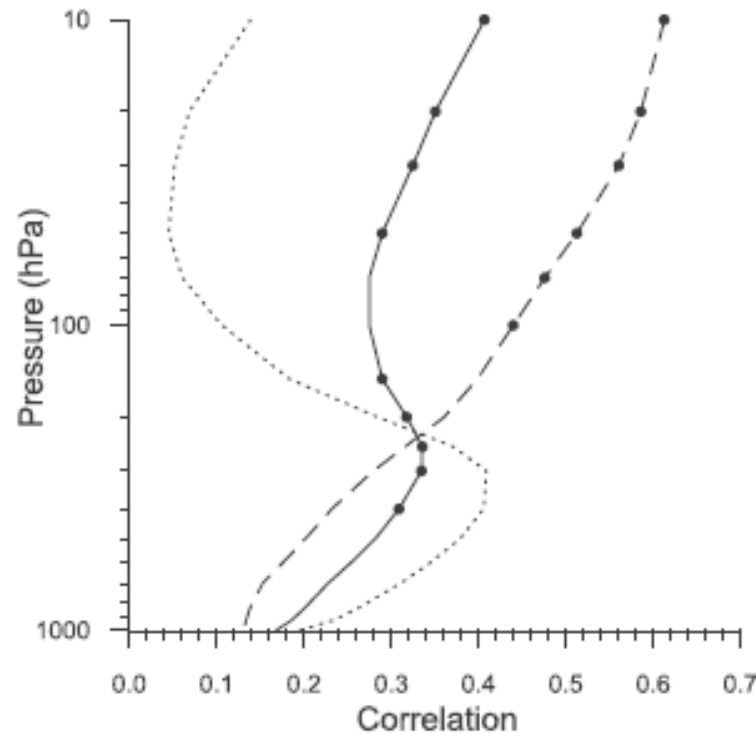
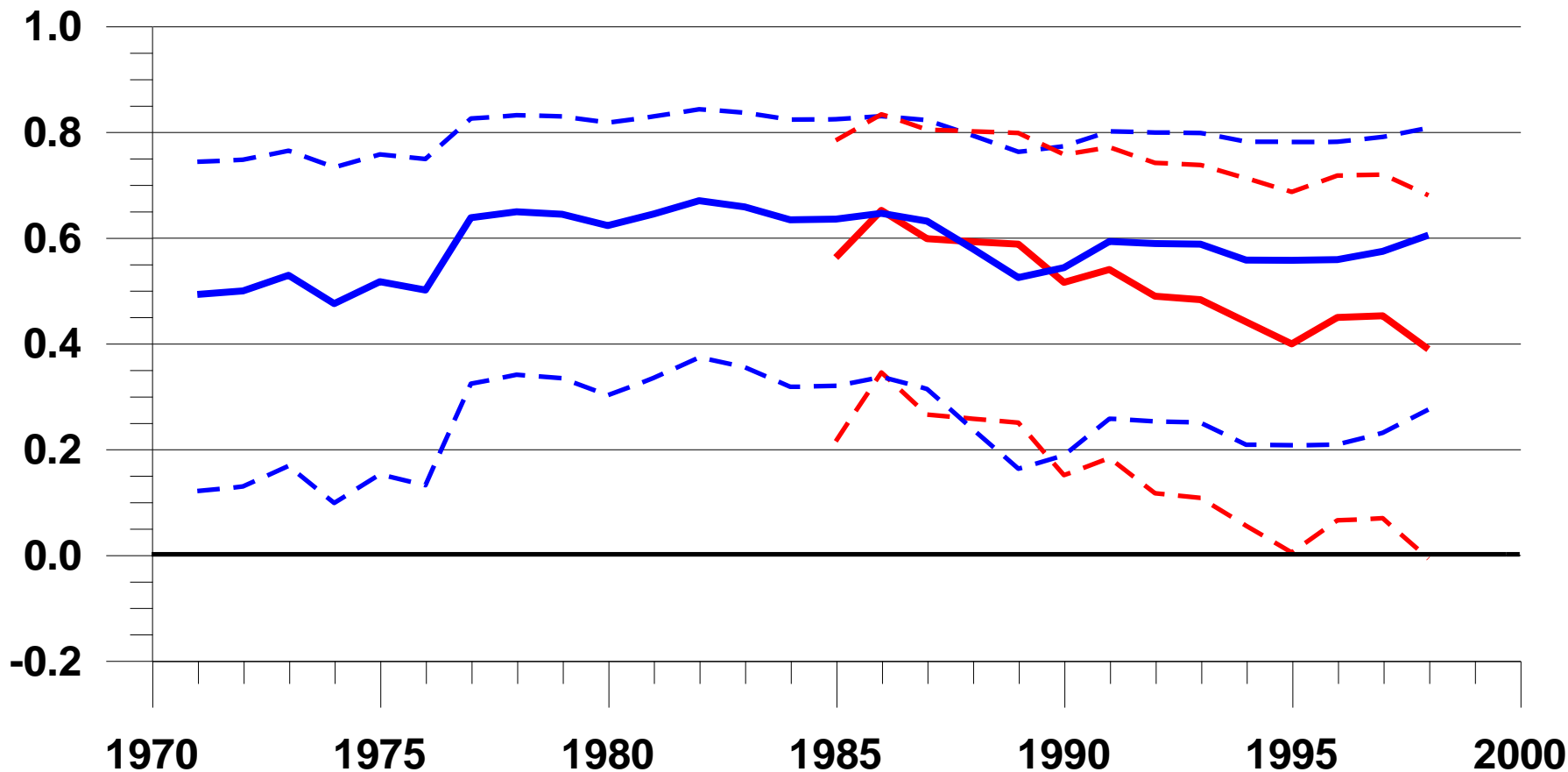


Figure 1. Correlations between the DJF NAM index and the inverted Sep.–Jan. mean Niño 3 index. Solid, the whole series (1958–2001); dashed, during solar minima (22 yr.); dotted, during solar maxima (22 yr.). Correlations significant at the 2.5% level are marked with solid circles.

(From Kryjov and Park, 2007).

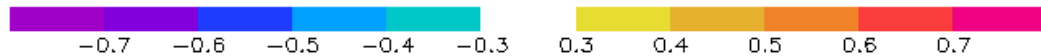
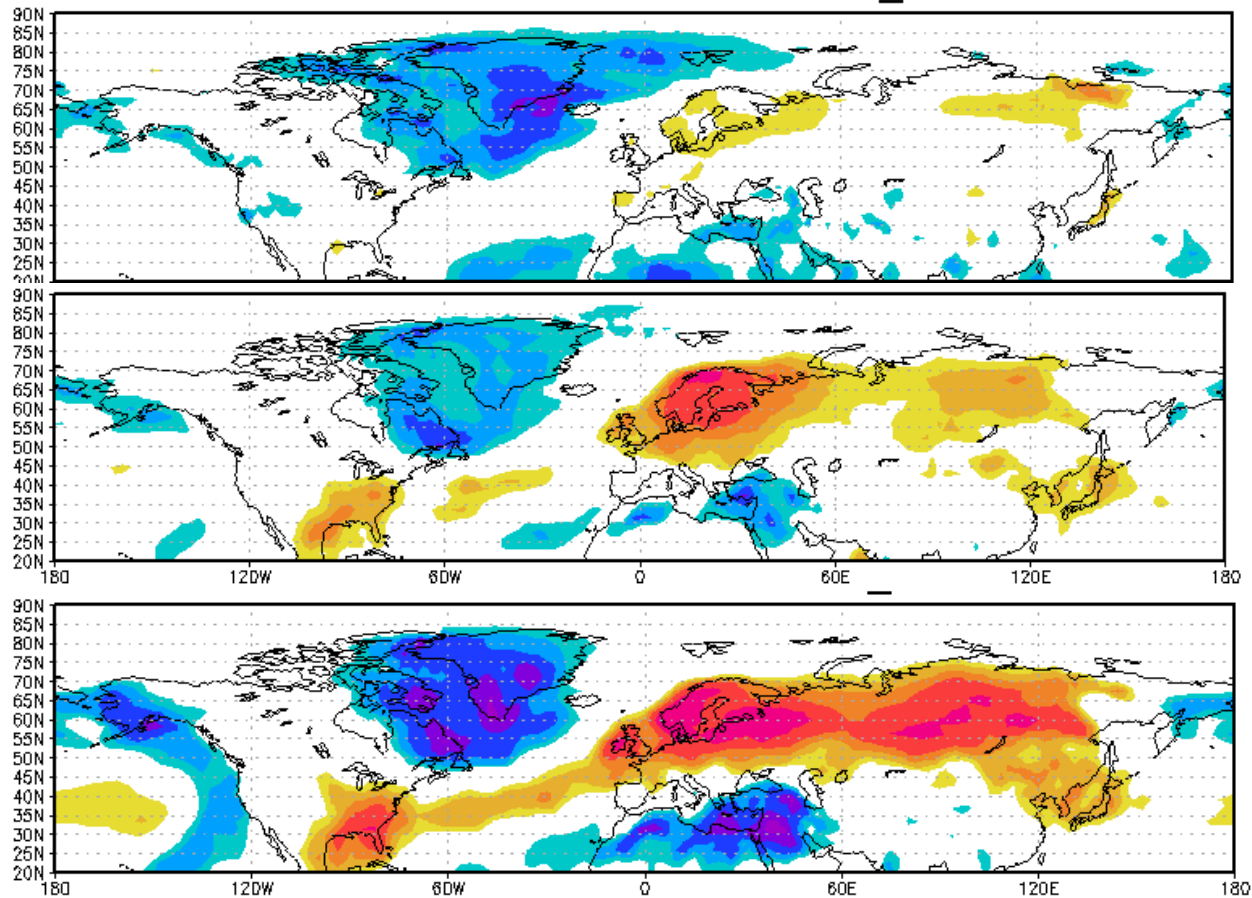


Коэффициенты корреляции с обратным знаком в скользящих 25-летних окнах.

Синий цвет – между зим. АО и окт. индексом циркуляции.

Красный цвет - между зим. АО и окт. площадью снежного покрова.

Штриховые линии – 95% доверительные интервалы.



Correlation coefficients between DJF T2m and October SEA (upper) Circulation Index (middle) and DJF AO (lower).

-
1. Показано, что средняя годовая температура воздуха – наиболее часто используемый
 2. Получены оценки влияния средней январско-февральской фазы АО на среднюю годовую
 3. Дано объяснение наблюдавшемуся на ЕТР понижению ноябрьской температуры в 1970
 4. Продемонстрирована связь полярности зимнего индекса арктической осцилляции с пре
 5. Предложен механизм стратосферной модуляции воздействия осенней фазы ЭНЮК на
 6. Предложен метод комплексации прогнозов гидродинамических моделей с неравными и
 7. Предложен метод вероятностной интерпретации результатов региональной детализации
 8. Разработано семейство методов вероятностной региональной детализации глобаль
 9. Испытания разработанной технологии показали существенное преимущество в успеш
-