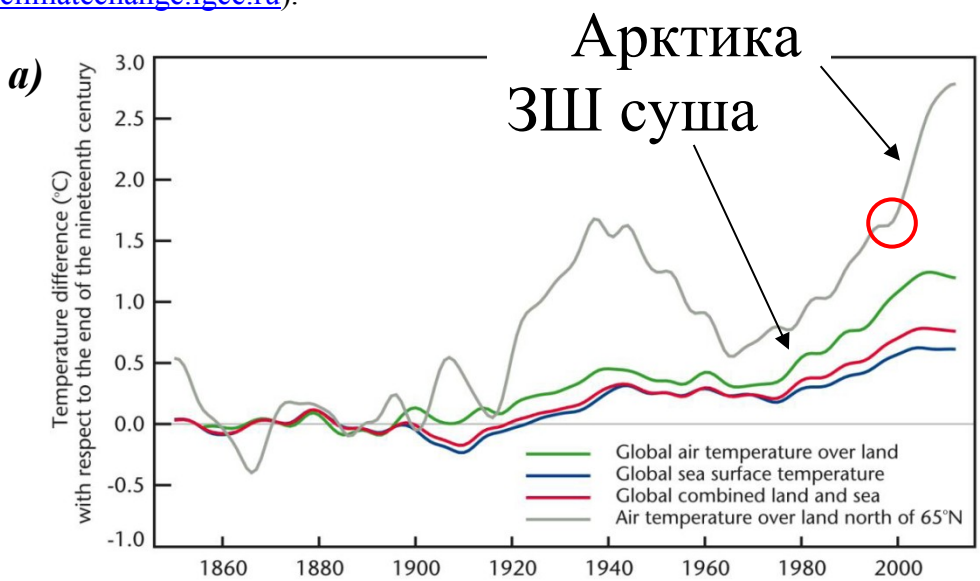
М.Ю. Бардин, ИГКЭ

Комментарий к докладу АРКТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

(Г.В. Алексеев, ААНИИ)

1. Важным отличием изменения климата Арктики является продолжение ее потепления вплоть до настоящего времени, в то время как глобальные температуры (как в целом для суши и океана, так и в особенности для суши) убывают после начала 21 века (рис. 1а). Мало того, после небольшого «плато» в конце 1990-х температура Арктики растет еще быстрее, чем в предыдущий период. Особенно заметно похолодание зим в Северной Евразии: на рис. 1б показаны изменения зимних температур на территории России, а на рис. 2 – оценки линейного тренда в этом ряду за периоды 1976-1995 и 1996-2012 гг. – как видно, похолодание распространяется на всю Северную Евразию, исключая Арктическое побережье. В то же время, в остальные сезоны и в целом за год потепление продолжается на всей территории России (см. бюллетень мониторинга климата России http://climatechange.igce.ru).



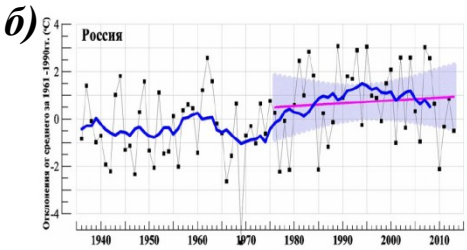
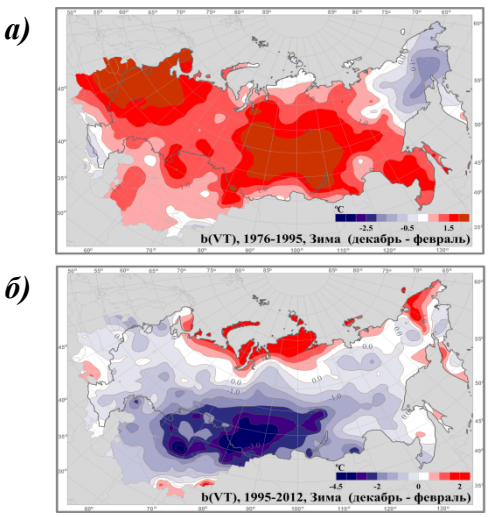


Рис. 1. Изменения среднегодовой приповерхностной температуры в Арктике, над Земным шаром и раздельно над сушей и у поверхности океана, *данные CRU UEA и Hadley Centre* (а); изменения зимней температуры на территории России, *данные ИГКЭ* (б)



В изменении температур, осредненных глобально и для различных регионов, выражены мощные междекадные колебания, которые анализировались многими авторами (Schlesinger & Ramankutty; Trenberth & Hurrell; Hurrell & van Loon, и т.д.). Wallace et al. обращают особое внимание на то, что эти колебания особенно выражены зимой и связывают это обстоятельство с более активными циркуляционными процессами зимнего сезона. Г.В. Алексеев в своем докладе поддерживает тезис о ведущей роли атмосферной циркуляции в наблюдаемых особенностях изменения климата.

Рис. 2. Линейный тренд зимней ПТВ в Северной Евразии 1976-95 гг. (а); 1996-2012 гг. (б). *Данные: ИГКЭ.*

По всей вероятности, именно изменения характера атмосферной циркуляции, а конкретно – ведущей моды климатической изменчивости Северного полушария – Североатлантического колебания (САК), привели к наблюдаемому похолоданию. Связи САК с ПТВ Северного полушария и средним зональным переносом в атмосфере представлены на рис. 3, связи с вихревым переносом – из рис. 4, где представлены статистики циклонической активности и перемещения циклонов в разные фазы САК. На рис. 5 показан характер изменений САК в 20-начале 21 века. Ясно, что рост положительной фазы САК с 1970-х до середины 1990-х должен сказаться в избыточном потеплении запада Северной Евразии (по различным оценкам: МГЭИК ОД3, Hurrell & van Loon, Бардин 2011 – до половины общего потепления), а после – в похолодании. Смещение пика потепления с 1996 г. на начало 21 в. для глобально-осредненных величин связано с влиянием тренда глобального потепления. Это просто иллюстрируется: аппроксимируя пик колебания параболой $-bt^2$, при добавлении тренда $(-bt^2+at)$ максимум смещается из 0 в $a/2b$, т.е., тем больше, чем больше тренд a и меньше b – «крутизна» убывания от максимума, которая для квазипериодического ряда характеризует соотношение между «периодом» и «амплитудой» таким образом, что смещение тем больше, чем больше период и меньше амплитуда. Грубо говоря, смещение ~ (тренд•период)/амплитуда; поэтому велико смещение для глобальных средних, где велико отношение тренд/амплитуда.

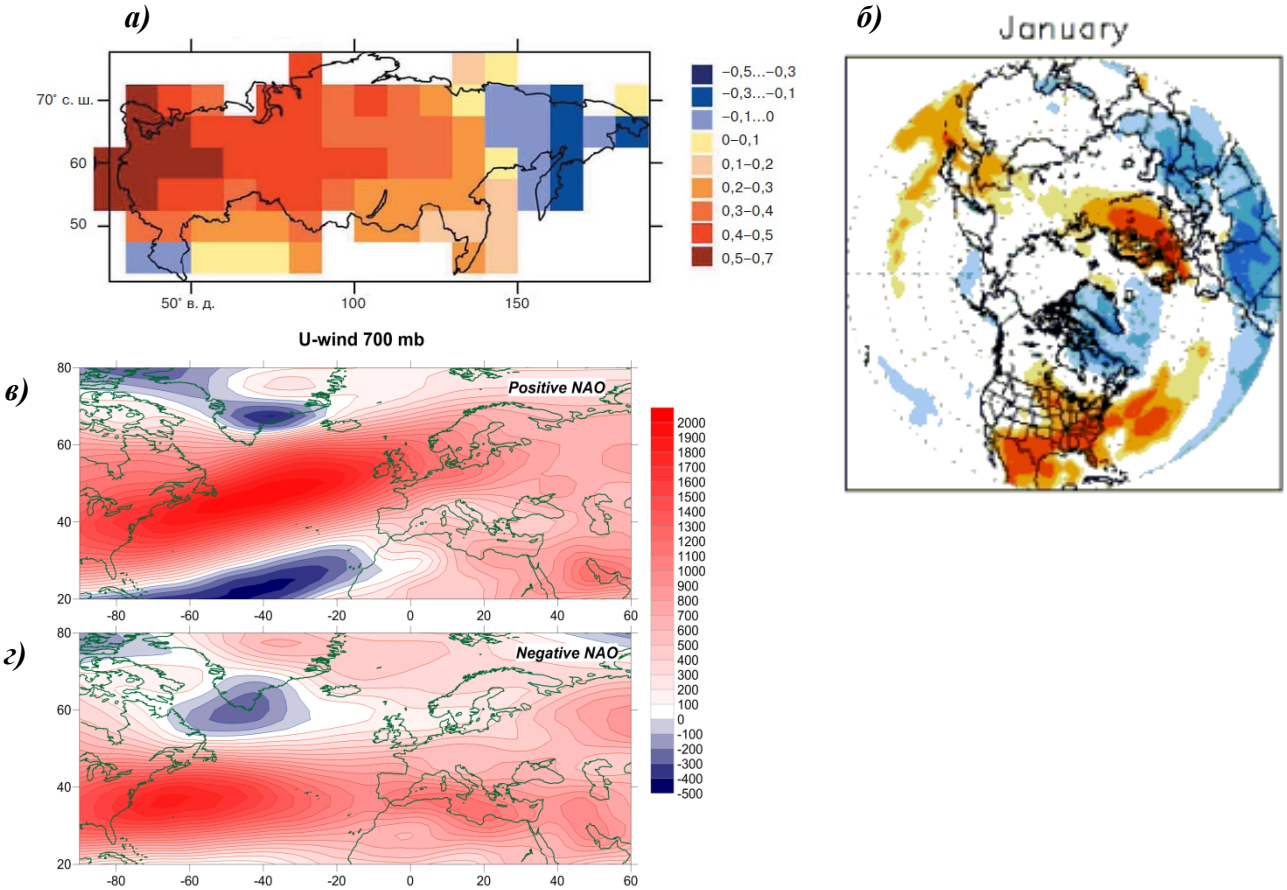


Рис. 3. а) Корреляция САК и ПТВ: зима (1886-2000 гг.)
САК: Лиссабон – Рейкьявик (NCAR)
*ПТВ: ИГКЭ 455 станций мониторинга климата на территории СНГ,*б) аномалия ПТВ зимой в положительной фазе САК (*CPC NCEP),*
в, г) средний зональный ветер (см/сек) зимой на изобарической поверхности 700 гПа в положительной и отрицательной фазах САК (данные: реанализ *NCEP)*

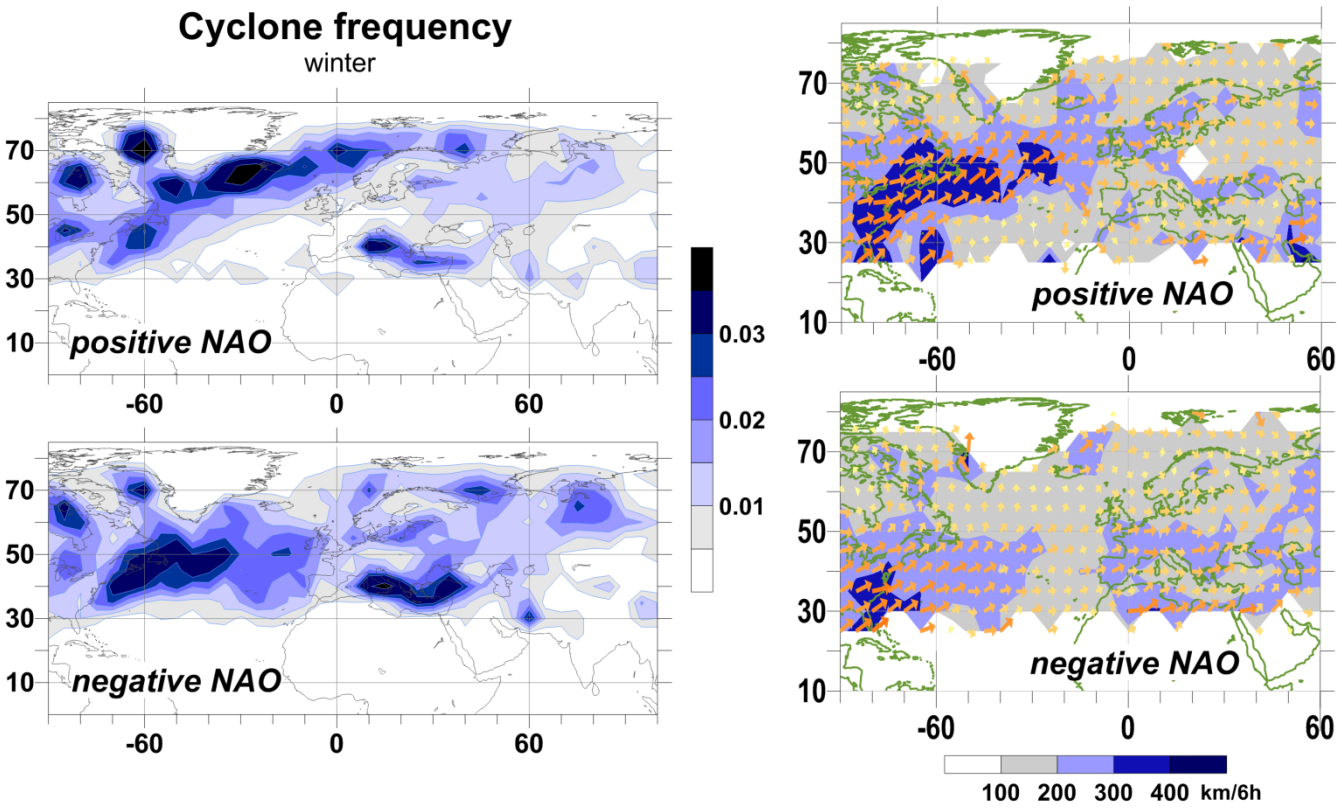


Рис. 4. Для положительной и отрицательной фаз САК (зима): (а) повторяемость циклонических центров (доля времени с центром над квадратом сетки 2.5°); (б) вектор (стрелка длины пропорциональной модулю скорости) и модуль скорости перемещения циклонов (градации показаны цветной заливкой) (Бардин, Полонский, 2005; Polonsky, Bardin, Voskresenskaya, 2011)

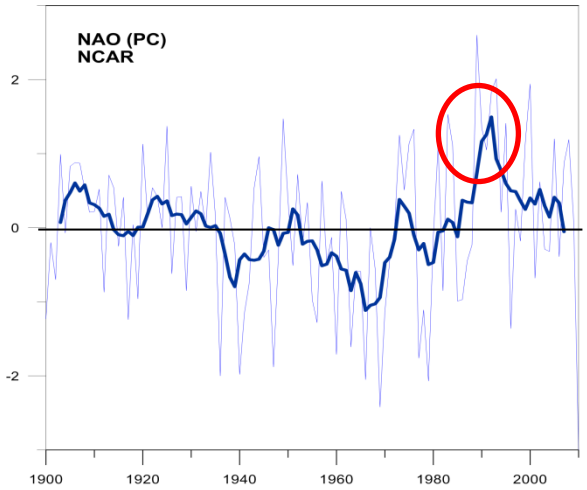


Рис. 5. Изменения индекса САК (ведущая главная компонента давления); данные (http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.data.html#naopcmon)

Что касается Арктики, то здесь не наблюдается похолодания, характерного для умеренных широт СП; особенно это явно для «морской» Арктики, т.е. наиболее северных прибрежных и островных станций (рис. 6). При этом рис. 7 демонстрирует, что средний меридиональный перенос в Арктику сосредоточен в основном в Северной Атлантике и районе залива Аляски. Как средний меридиональный перенос (рис. 7в, г), так и перенос вихрями (рис. 4) в Северной Атлантике резко интенсифицируется в положительной фазе САК. Это объясняет более быстрое, чем глобальное, потепление в Арктике до середины 1990-х; однако после 1996 г. эта компонента должна уменьшиться по сравнению с максимумом первой половины 1990-х (это и происходит: ср. рис. 7б

и в). В то же время, рис. 7б показывает, что компонента переноса, связанная с Тихоокеанским сектором, не превышает средней величины за весь период 1958-2012 гг. Таким образом, продолжение роста ПТВ в Арктике в первое десятилетие 21 в., по-видимому, нельзя объяснить только циркуляционными факторами.

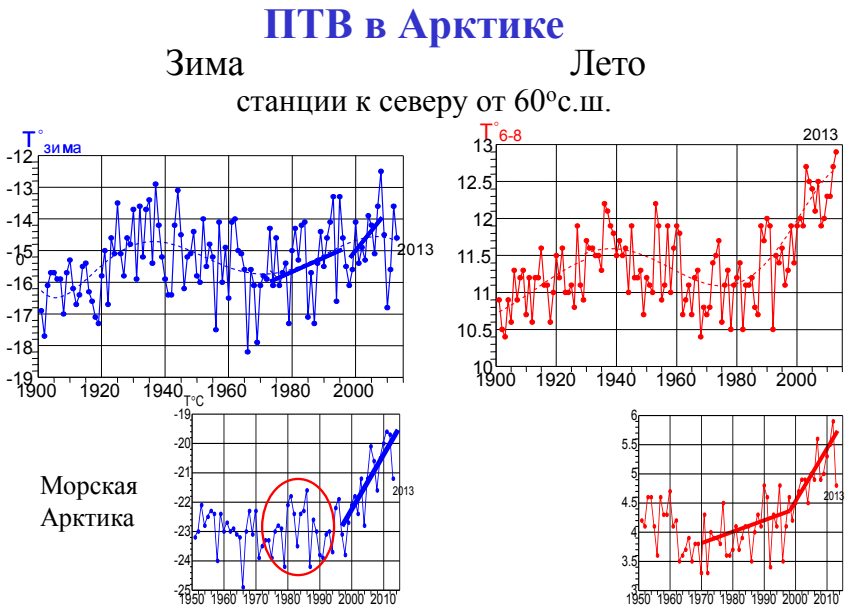


Рис. 6. Изменения приземной температуры воздуха зимой и летом к северу от 60°с.ш. и для «морской» Арктики

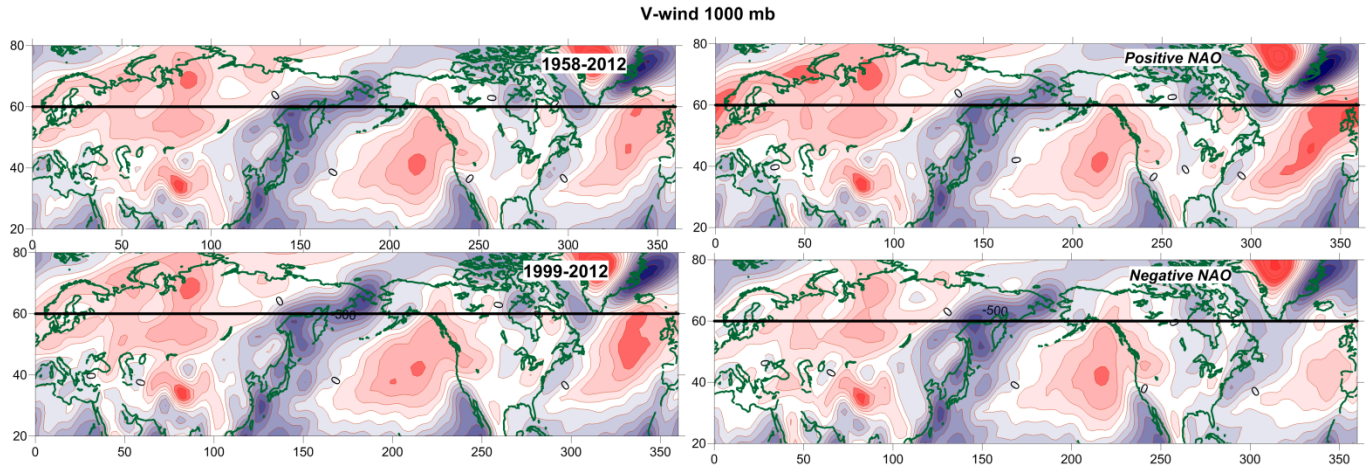


Рис. 7. Средний зональный ветер (см/сек) зимой на изобарической поверхности 1000 гПа: а) среднее за 1958-2012 гг.; б) за 1999-2012 гг.; в, г) в положительной и отрицательной фазах САК (данные: реанализ *NCEP)*

2. Вероятно, вклад меридионального переноса в тренд переоценивается.
Его оценка получается из регрессионной модели, связывающей ПТВ с индексом меридионального переноса:

$$T_M = \beta_{DT} D_M$$

$$T_M = \beta_{DT}(\alpha_M t + D'_M) \qquad \alpha_{MT} = \beta_{DT}\alpha_M$$

(обозначения см. доклад Г.В. Алексеева).
Однако, в действительности модель должна включать и другие регрессоры, в частности, региональные изменения очевидно связаны с изменениями глобальной температуры.

При учете связи с глобальной температурой:

$$T_M = \beta'_{DT} D_M + \beta_{Tgl} T_{gl} + w$$
$$\beta_{Tgl} > 0$$
$$\beta'_{DT} < \beta_{DT} \quad \alpha'_{MT} < \alpha_{MT}$$

получаем, что оценка тренда, обусловленного меридиональным переносом, должна быть меньше. Это же относится и к зональному переносу и его вкладу в потепление средних широт, который едва ли превышает 30%.

3. Известные слабые места климатических моделей:

•Статистика синоптических вихрей в атмосфере
недооценка циклонической активности и, как следствие, энергообмена в области основных штормтреков
•Спектр временной изменчивости ведущих климатических мод
неадекватное воспроизведение характерных временных масштабов и амплитуд
•Морской лед
•Облачность
•Стратосфера
возможные связи с САК

в настоящее время не позволяют полноценно использовать результаты моделирования для исследования естественной климатической изменчивости. Единственным средством для этого остается эмпирико-статистический анализ накопленных массивов данных наблюдений и (с известной осторожностью) реанализов.

Бардин М.Ю., Полонский А.Б. (2005): Североатлантическое колебание и синоптическая изменчивость в Европейско-Атлантическом регионе в зимний период. – Изв. РАН. ФАО, том 41, № 2, с. 3-13.

Бардин М.Ю. (2011): Сценарные прогнозы изменения температуры воздуха для регионов РФ до 2030 г. с использованием эмпирических стохастических моделей климата. - Метеорология и гидрология, № 4, с. 5-21.

Hurrell J.W., and H. van Loon (1997) Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation. *Climatic Change* **36**: 301-326.

A. Polonsky, M. Bardin, E. Voskresenskaya (2012): Variability of extratropical cyclonic activity in the Northern Hemisphere associated with global processes in the ocean-atmosphere system. - In book: Cyclones: Formation, Triggers and Control (Editors: Kazuyoshi Oouchi and Hironori Fudeyasu), Nova Science Publishers, Inc., USA-Canada, Chapter 8, 2012, p. 161-196.

Schlesinger M. E., and N. Ramankutty. An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. Nature, 1994, 367, p. 723-726.

Wallace J.M., Y. Zhang, and L. Bajuk (1996): Interpretation of interdecadal trends in Northern Hemisphere surface air temperature. J. Climate 9: 249–259.