

Исследования изменений климата Арктики: прогресс, проблемы, актуальные задачи

В.А. Семенов

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Институт географии РАН

vasemenov@ifaran.ru

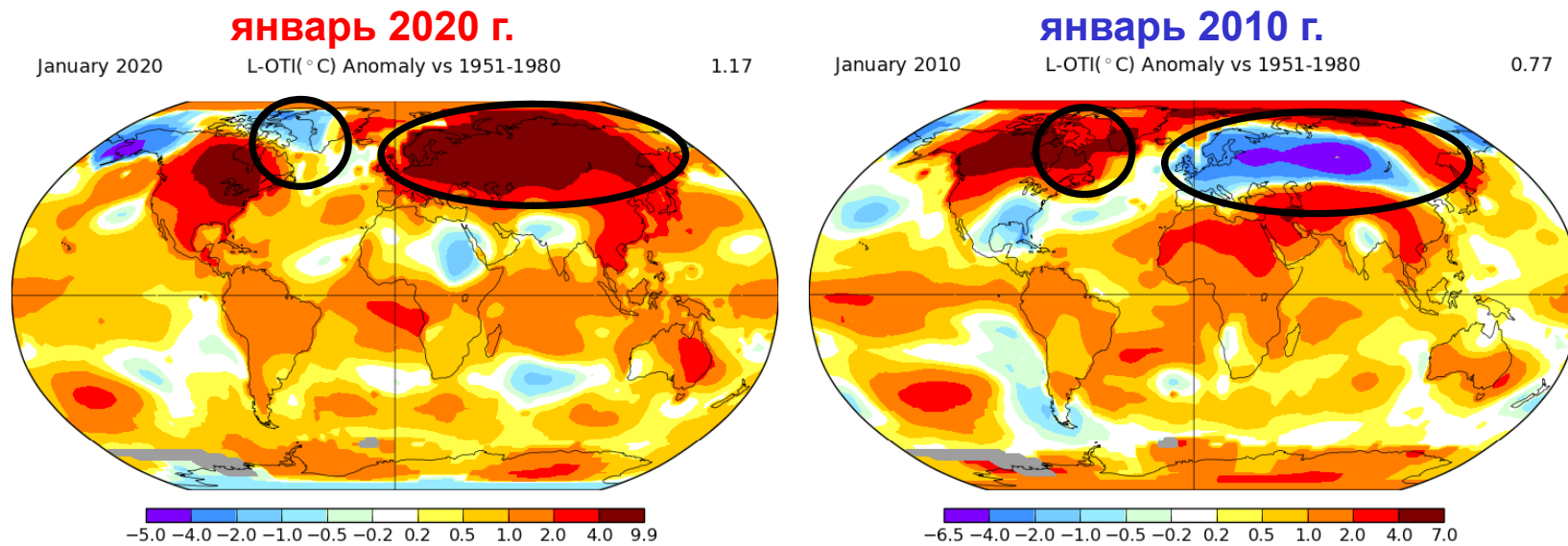
Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие

Остающиеся нерешенными проблемы и актуальные задачи

Пример влияния процессов в Арктике на глобальный климат

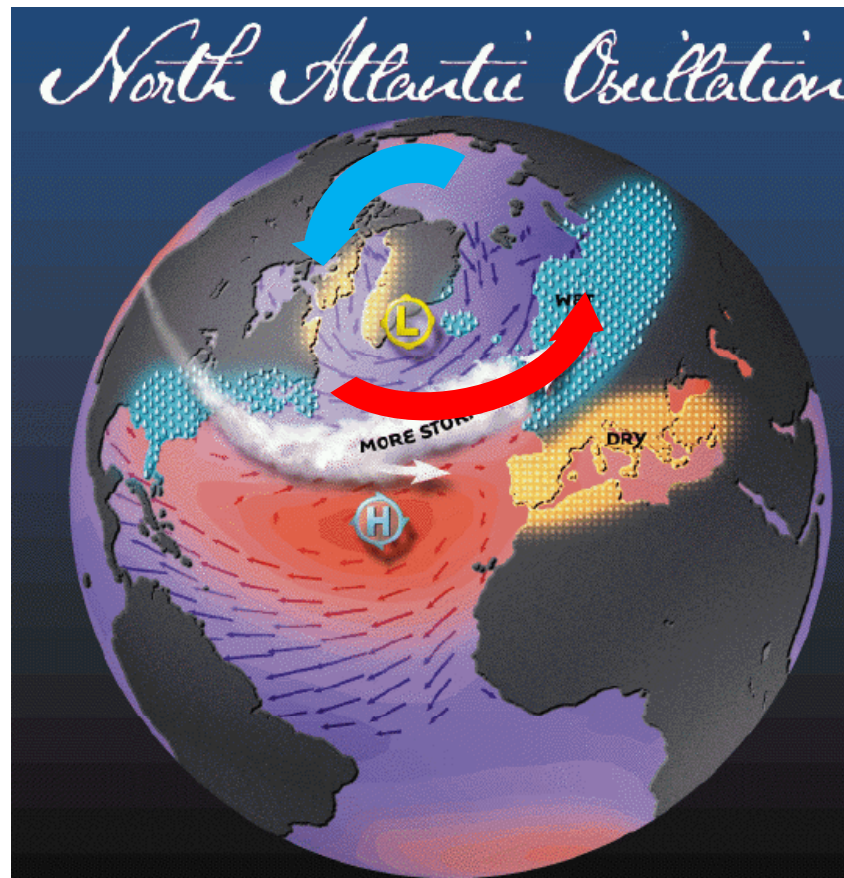
Зима 2020 г. Что это было?

Аномалия приповерхностной температуры



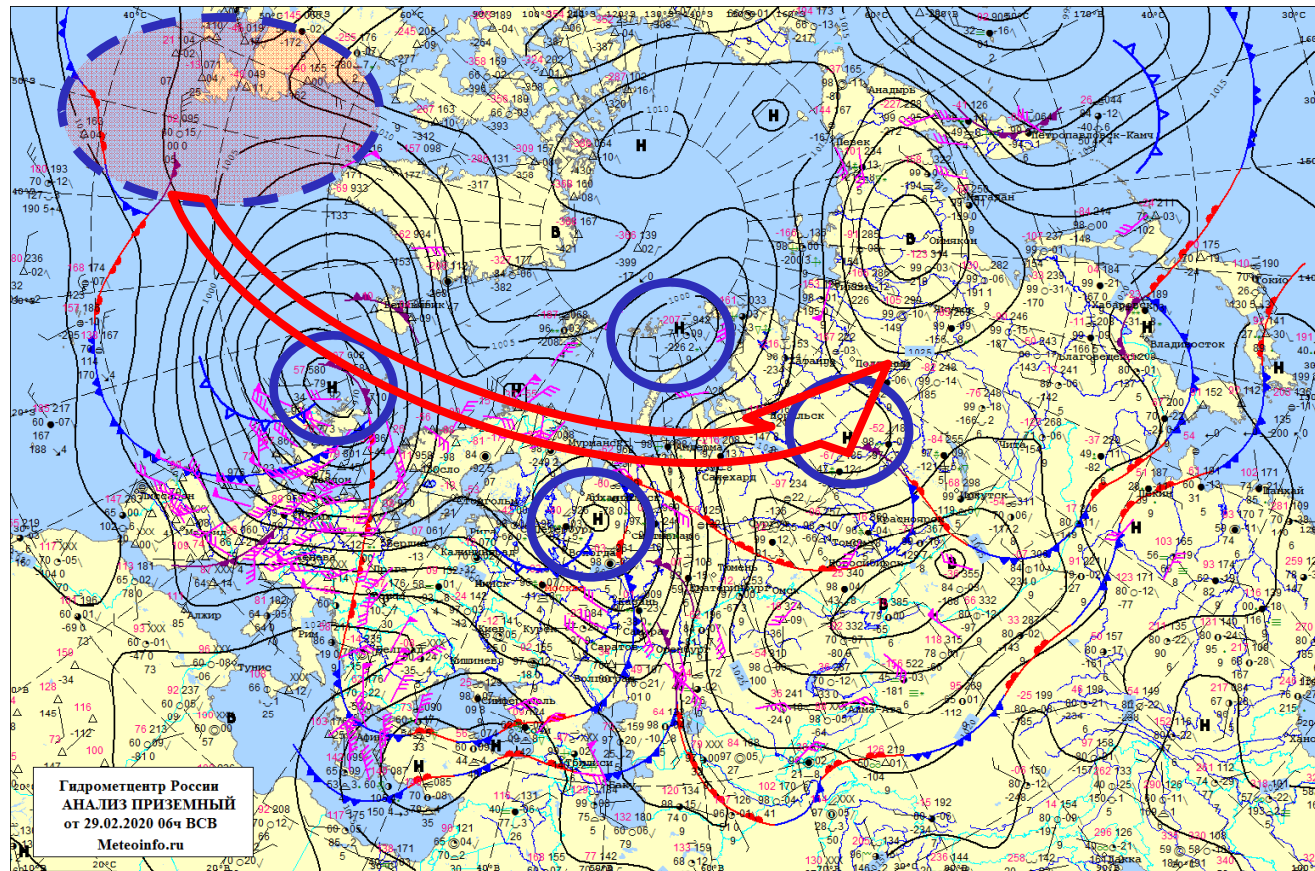
Зима 2020 г. Что это было?

Северо-атлантическое колебание



Зима 2020 г. Что это было?

Индекс Северо-атлантического колебания и зимняя температура в Москве



Зима 2020 г. Что это было?

Индекс Северо-атлантического колебания и зимняя температура в Москве

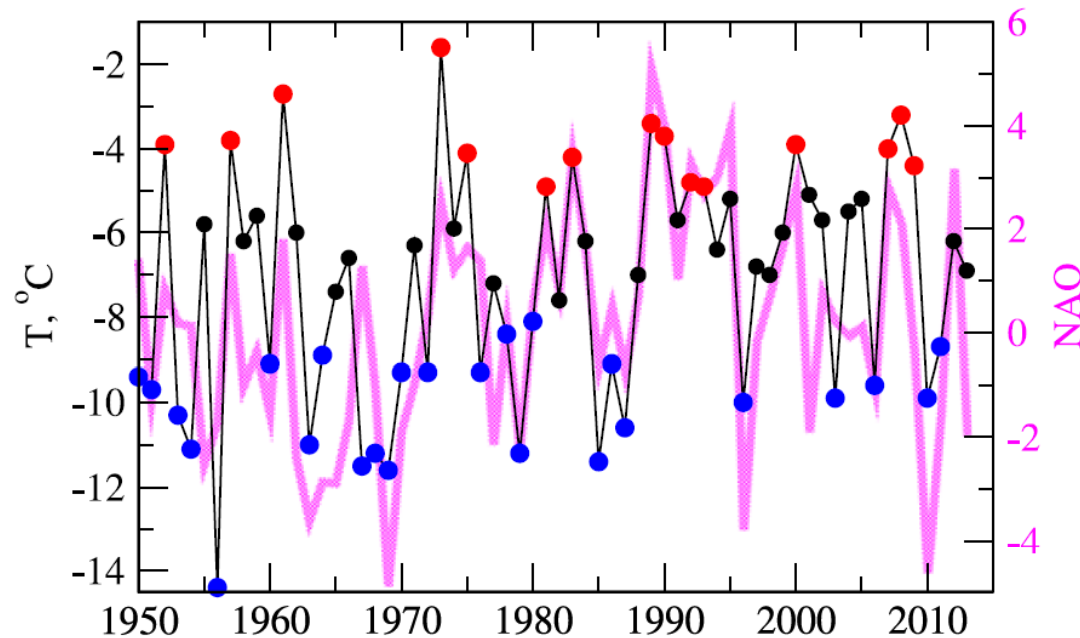
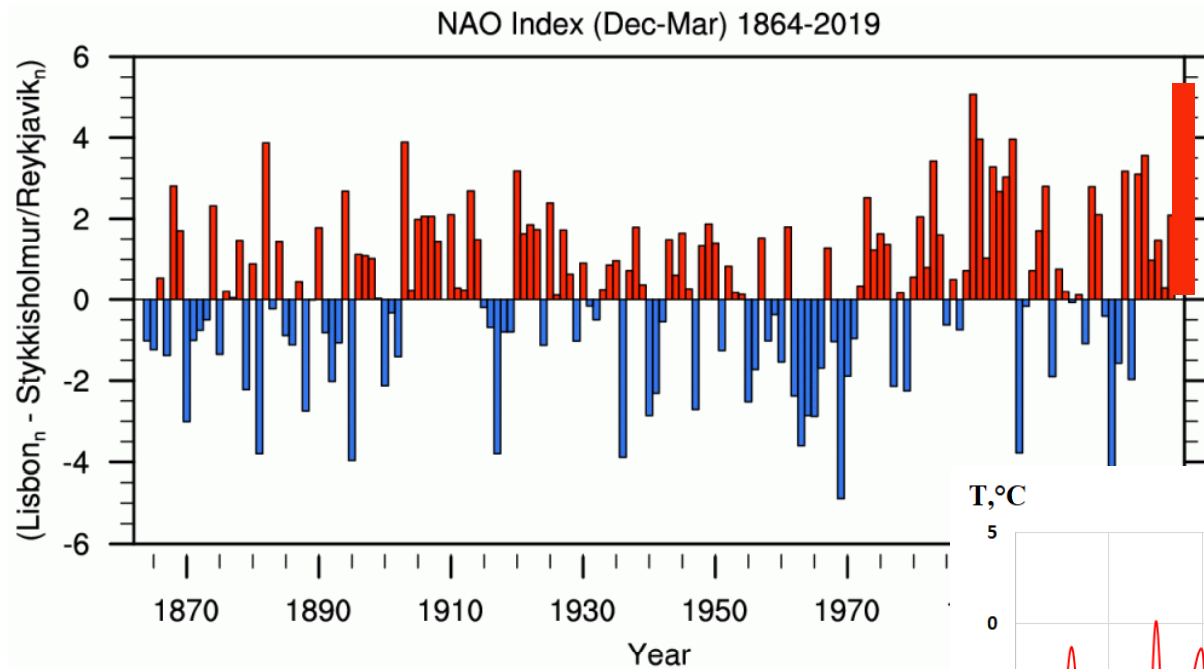


Figure 2. Winter (DJF) surface air temperatures in Moscow (°C, black line) and North Atlantic Oscillation index (thick magenta line). The correlation between the time series is 0.59. The blue and red dots mark strong negative and positive SAT anomalies correspondingly.

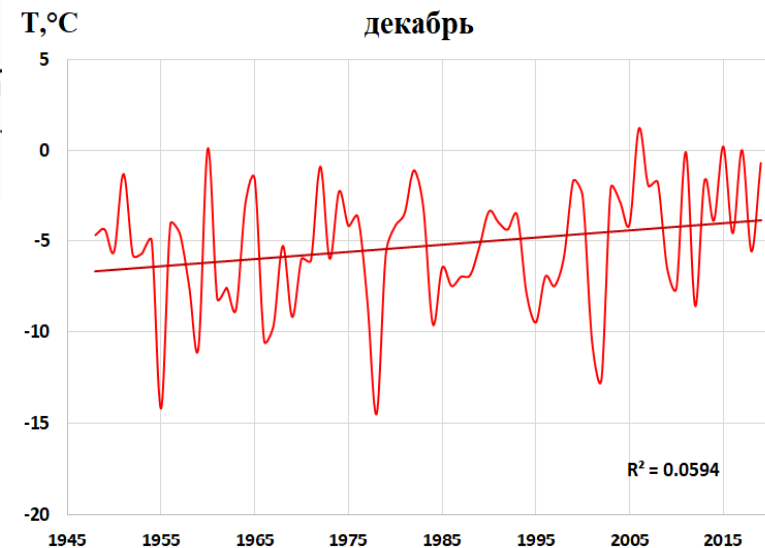
Semenov and Latif, 2015

Зима 2020 г. Что это было?

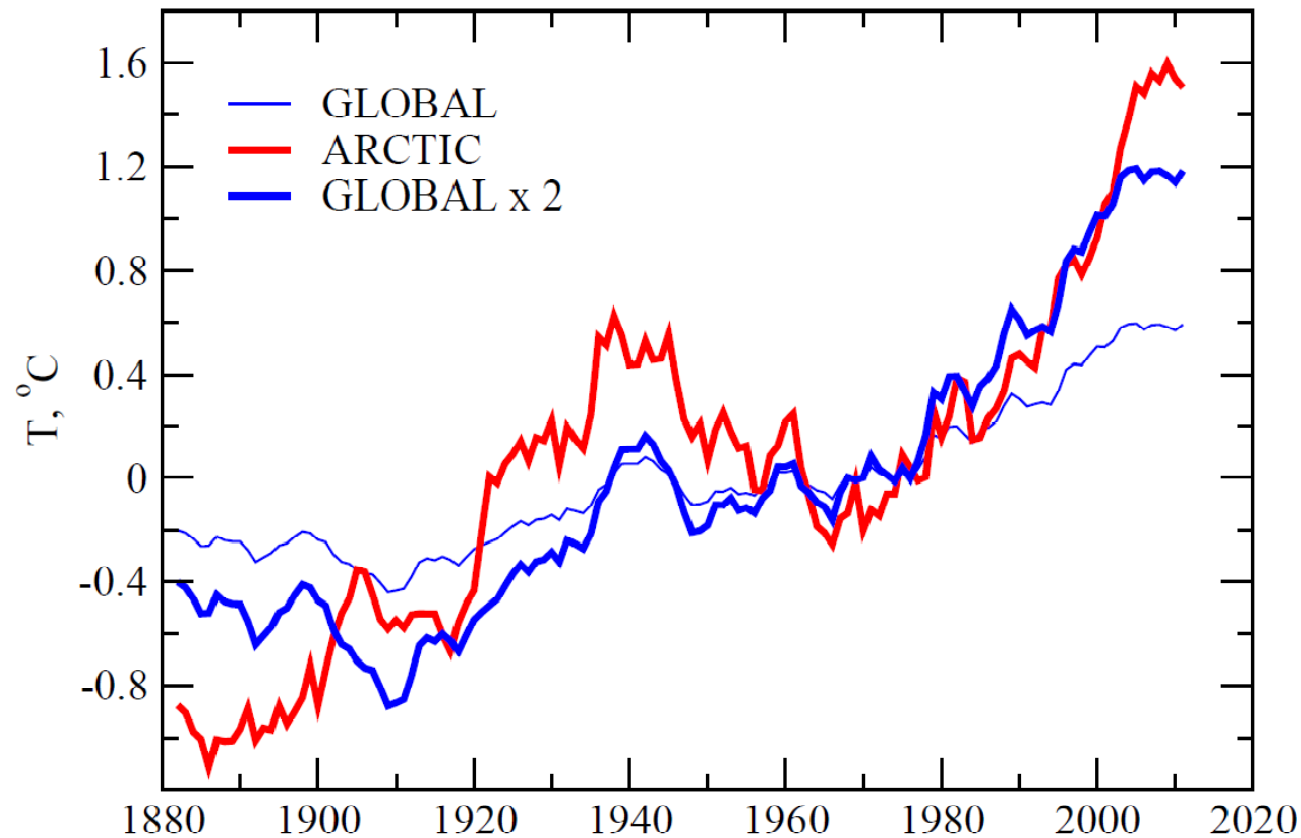


Аномально теплая зима 2020 г. на территории Северной Евразии – следствие аномально высокой положительной фазы САК на фоне долгопериодного тренда потепления в последние 100 лет.

Случайна ли аномалия САК или она связана с внешними факторами?



Аномалии среднегодовой приземной температуры (°C) в Арктике и в среднем на планете



- Арктическое усиление климатических изменений
- Роль естественной изменчивости климата
- Нелинейность связи глобальных и арктических изменений климата

Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

Появление новых данных о состоянии арктической климатической системы

Более успешное воспроизведение изменений климата в Арктике моделями

Выявление новых процессов

Выявление новых положительных обратных связей

Появление новых концепций

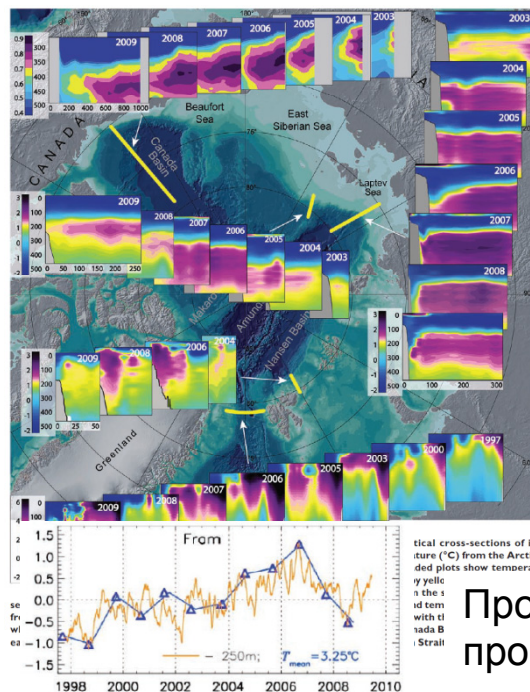
Слом старых концепций

Интенсивные исследования взаимосвязи динамики атмосферы в высоких и средних широтах

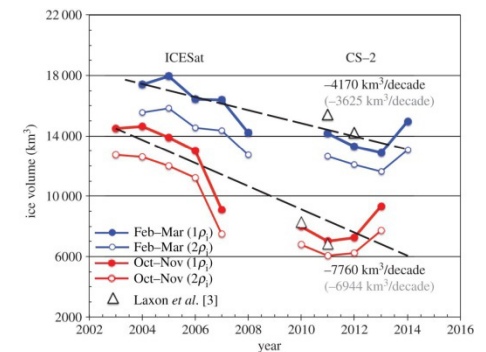
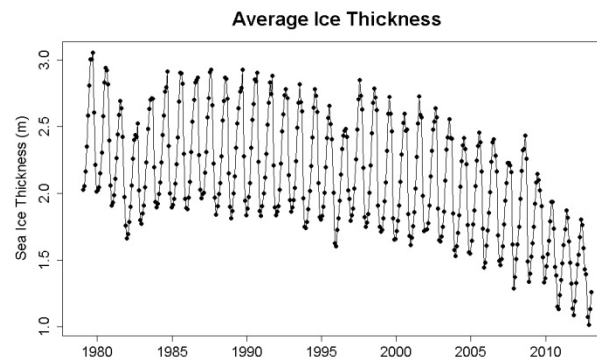
Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

Появление новых данных о состоянии арктической климатической системы

Систематические океанографические наблюдения в Арктике с 1990-х гг. к настоящему времени позволяют составить картину климатических изменений за последние два десятилетия



Спутниковые данные (ICESat CryoSat) с 2003 г. позволяют получать сеточные данные о толщине льда



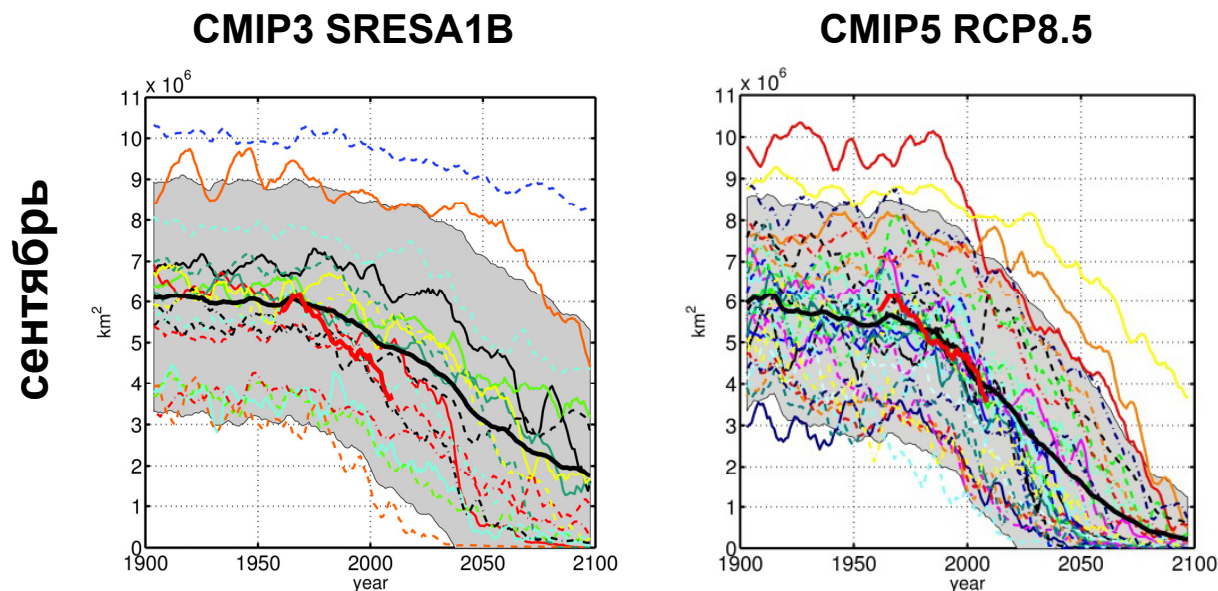
Океанический реанализ (PIOMAS) позволяет оценить состояние океана в последние 40 лет

Проводится работа по расширению временного охвата данных в прошлое (реанализы, реконструкции) (e.g., Chernokulsky et al., 2017)

Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

Более успешное воспроизведение изменений климата в Арктике моделями

Площадь арктических морских льдов в сентябре (млн. км²) в моделях CMIP3 и CMIP5



Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

Морской лед в моделях климата: настраиваемый параметр



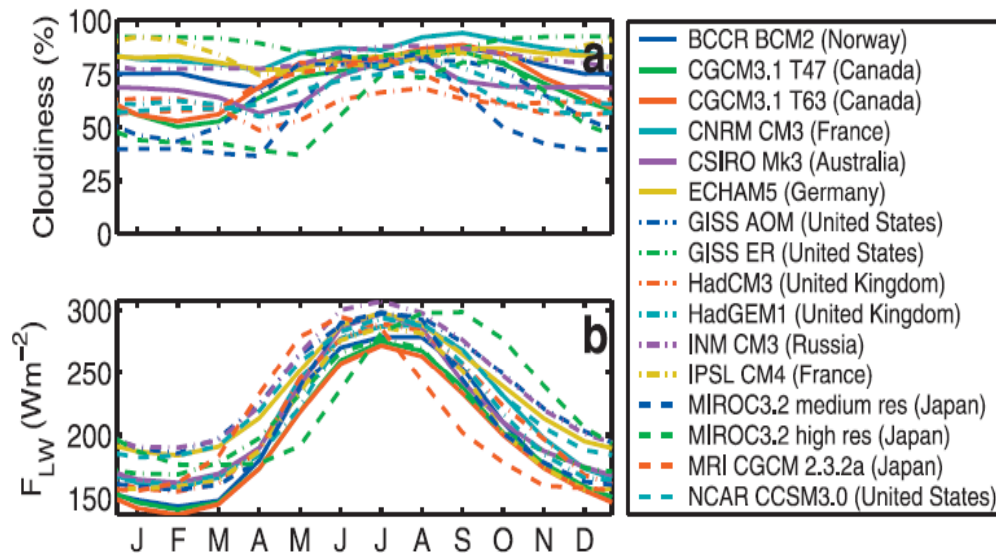
GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 34, L10501, doi:10.1029/2007GL029914, 2007

On the reliability of simulated Arctic sea ice in global climate models

I. Eisenman,¹ N. Untersteiner,² and J. S. Wettlaufer³

Received 8 March 2007; accepted 17 April 2007; published 18 May 2007.

Разброс годового хода облачности и приходящей длинноволновой радиации DLWR в моделях CMIP3



Зависимость среднегодовой толщины льда от DLWR и альбедо

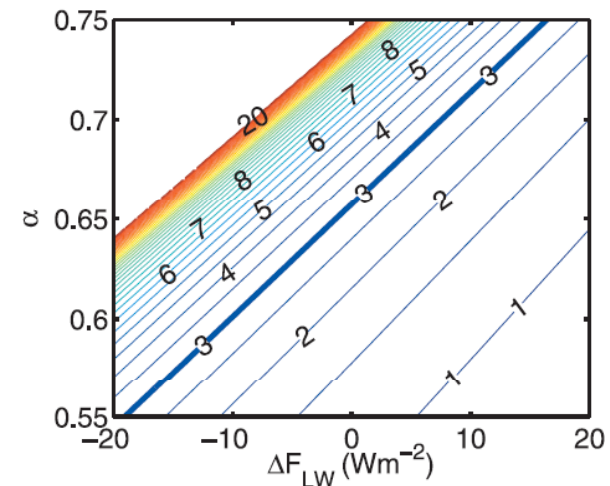
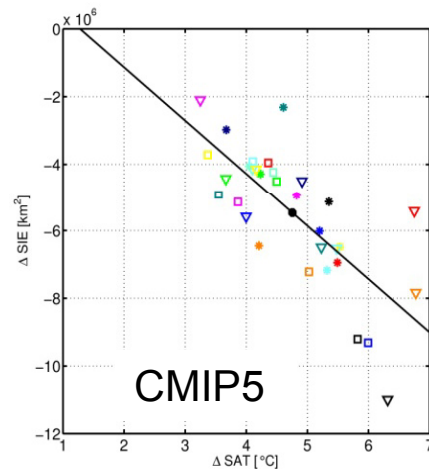
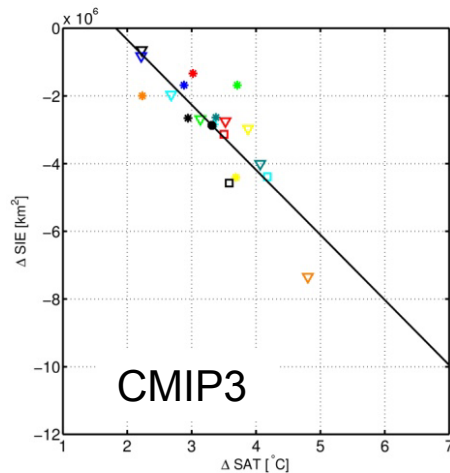


Figure 3. Equilibrium ice thickness in the idealized analytical model (equation 3) as a function of absorbed radiation for the range of downwelling longwave radiative fluxes predicted by GCMs (ΔF_{LW}) and varying ice albedo (α).

Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

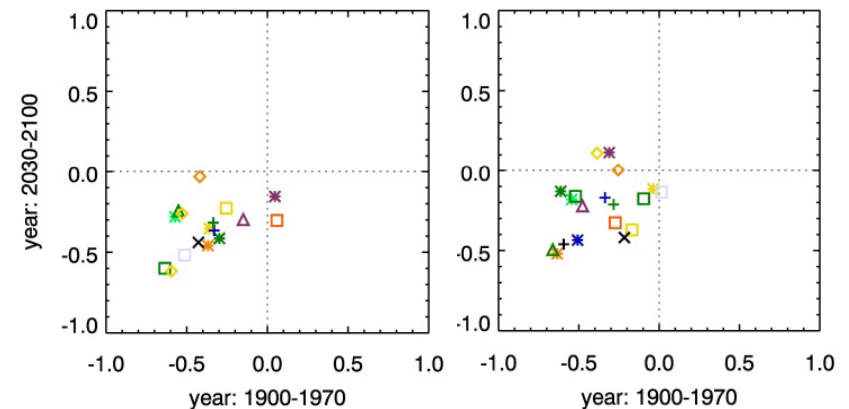
Не все так плохо!

Связь между изменениями ПМЛ зимой и т-ры СП



Ошибки в воспроизведении характеристик льда во многом связаны с ошибками воспроизведения глобальной температуры

Связь (корреляция) между вариациями ПМЛ зимой в Баренцевом море и разностью давления воздуха между Шпицбергом и Нордкапом

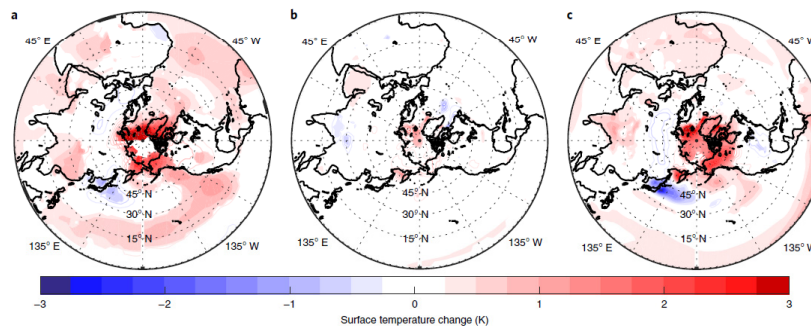


Модели способны воспроизводить региональную динамику морских льдов

Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

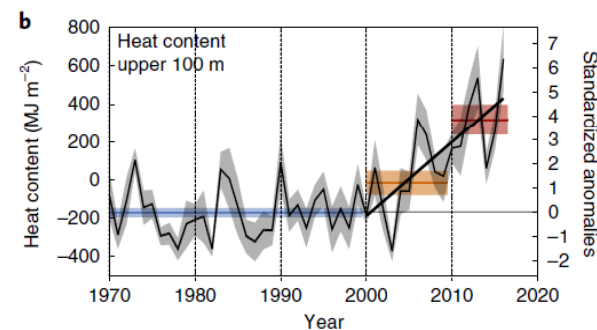
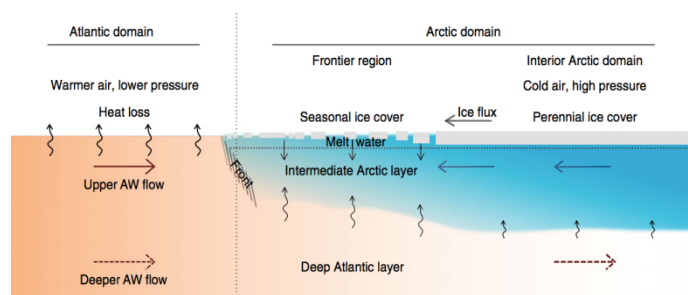
Выявление новых процессов

Влияние северного Тихого океана на климатическую изменчивость в Арктике



Роль Тихоокеанской декадной осцилляции в потеплении середины XX века (Svendsen et al., 2018)

Процесс «атлантификации» Баренцева моря



Быстрый переход к новому режиму состоянию океана в Баренцевом море (Lind et al., 2018)

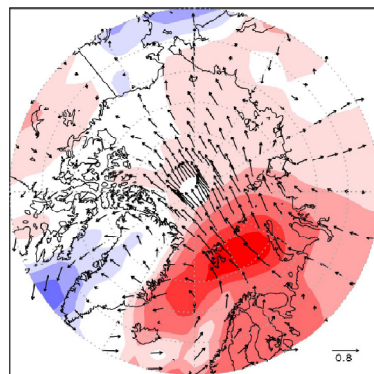
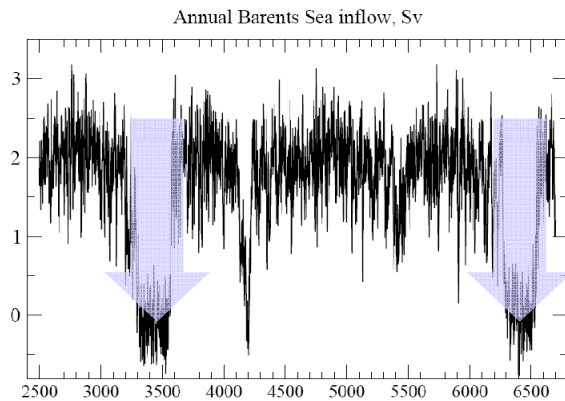
Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

Выявление новых положительных (динамических) обратных связей



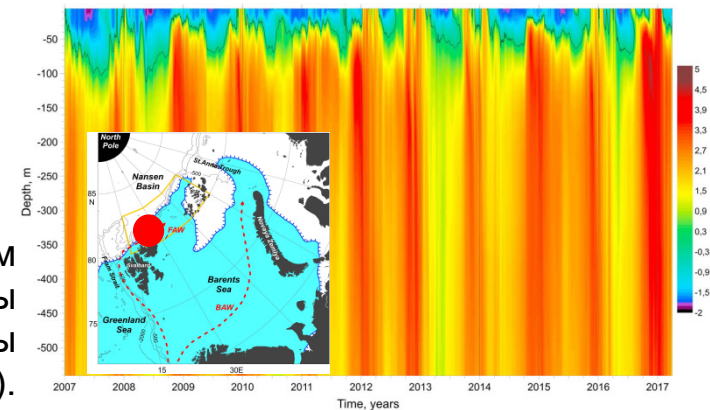
Положительная обратная связь между океаническим притоком в Баренцево море и льдом (Bengtsson et al., 2004; Semenov et al., 2009; Семенов, 2015).

Возможность резкого прекращения притока (Semenov et al., 2009)



Положительная обратная связь между льдом и длинноволновой радиацией (Alexeev, ..., Semenov et al., 2018).

Инициация конвекции в верхнем слое океана и ПОС толщины льда с температурой воды (Ivanov, ..., Semenov, 2018).

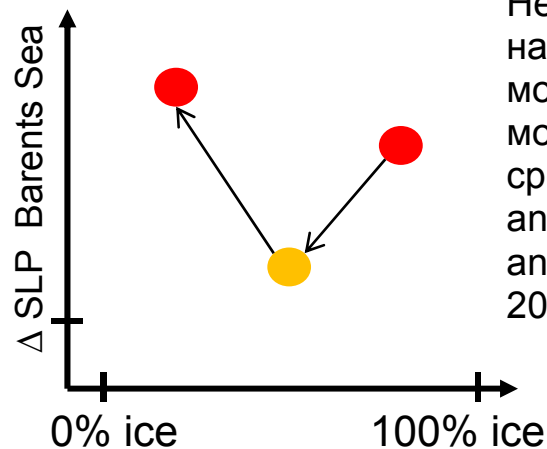


Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

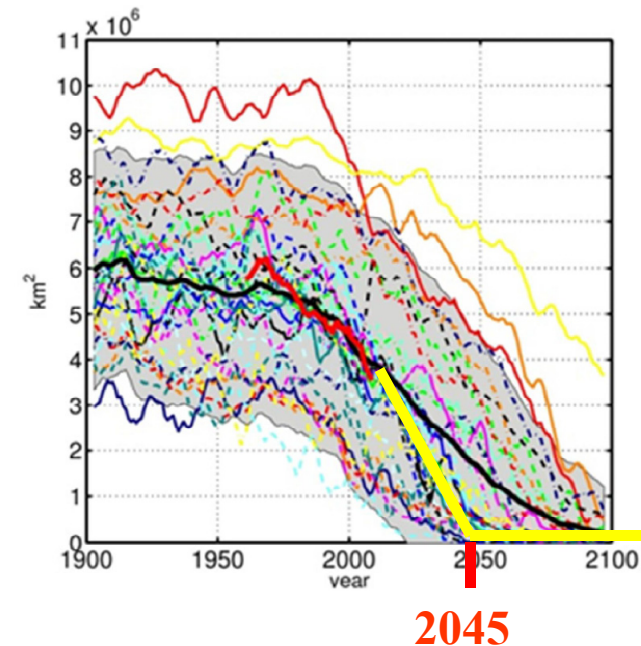
Появление новых концепций

Существование «точек/порогов неустойчивости»

Нелинейность отклика циркуляции к изменениям климата Арктики



Нелинейный отклик циркуляции на сокращение площади морских льдов в Баренцевом море. Зависимость отклика от среднего состояния. (Petoukhov and Semenov, 2010; Semenov and Latif, 2015; Overland et al, 2016).



Влияние процессов в стратосфере

Учета процессов взаимодействия в стратосфере и тропосфере необходим для корректного воспроизведения изменчивости климата (модели!)

Stratosphere key for wintertime atmospheric response to warm Atlantic decadal conditions

N.-E. Omrani · N. S. Keenlyside · Jürgen Bader · Elisa Manzini

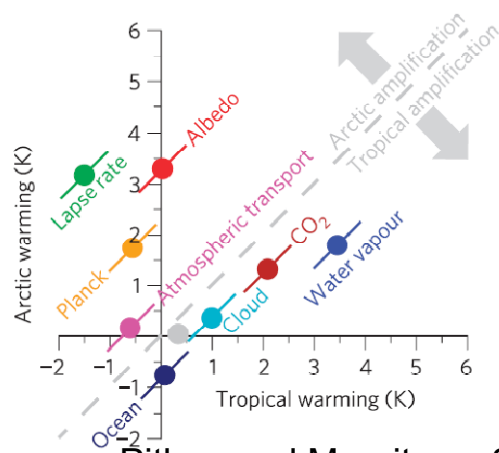
Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

Слом старых концепций

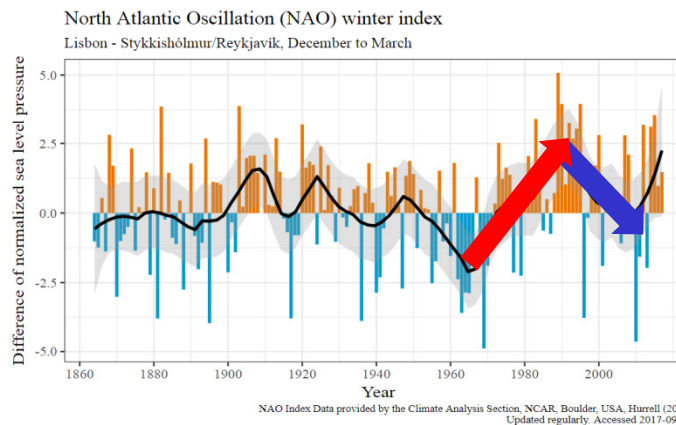
~~Положительная обратная связь альbedo-температура – главная причина ускоренных изменений климата в высоких широтах СП~~

~~Северо-атлантическое колебание (САК) будет смещаться в положительную фазу при антропогенном воздействии~~

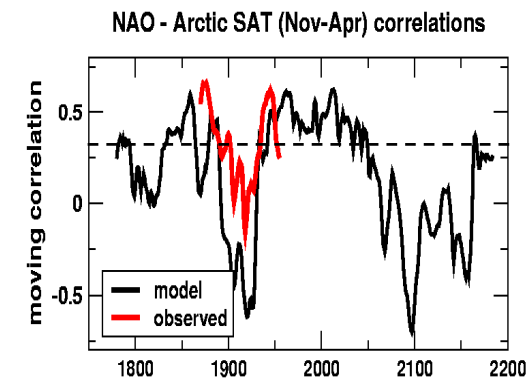
~~САК определяет декадную изменчивость климата в Арктике~~



Pithan and Mauritsen, 2014



Semenov et al., 2008



Семенов, 2008; Smedsrud et al., 2013

Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

Интенсивные исследования взаимосвязи динамики атмосферы в высоких и средних широтах

Отклик атмосферной циркуляции на сокращение площади арктических морских льдов

Воздействие на планетарные волны

Воздействие на циклоническую активность

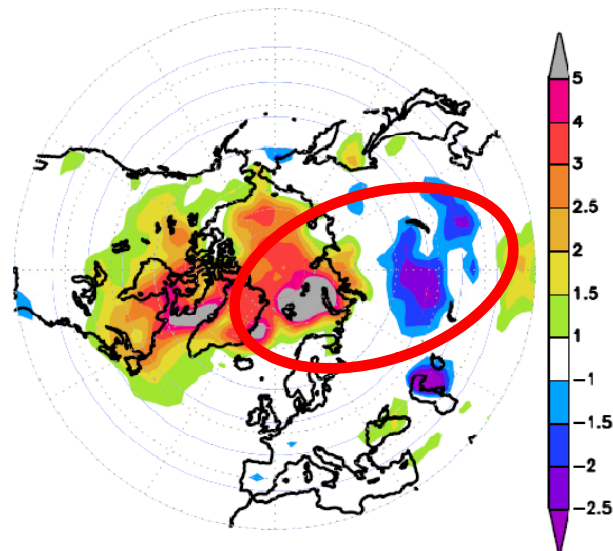
Воздействие на региональные и крупномасштабные моды внутренней изменчивости атмосферы

Воздействие на струйные течения

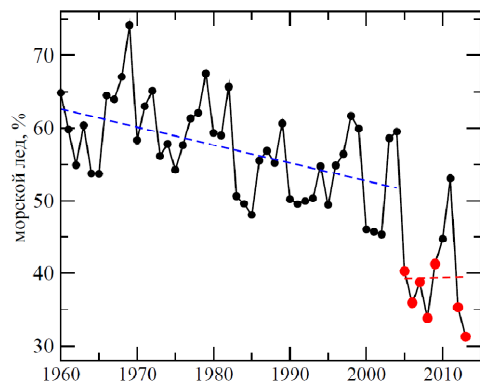
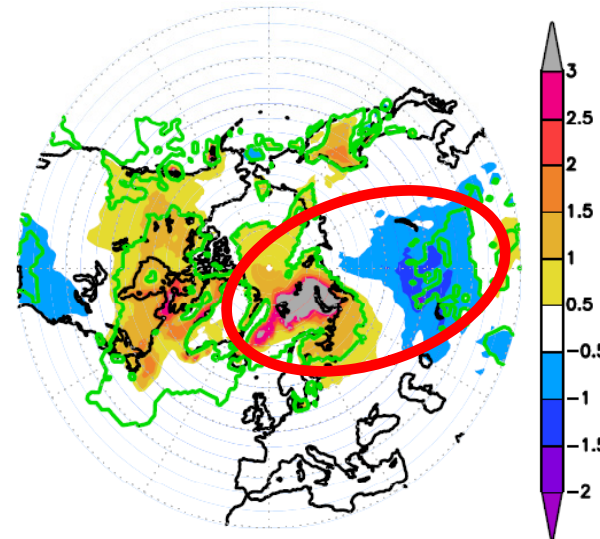
Процессы взаимодействия со стратосферой

Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)

Наблюдения: аномалии зимней т-ры в 2005-2012 гг., °C



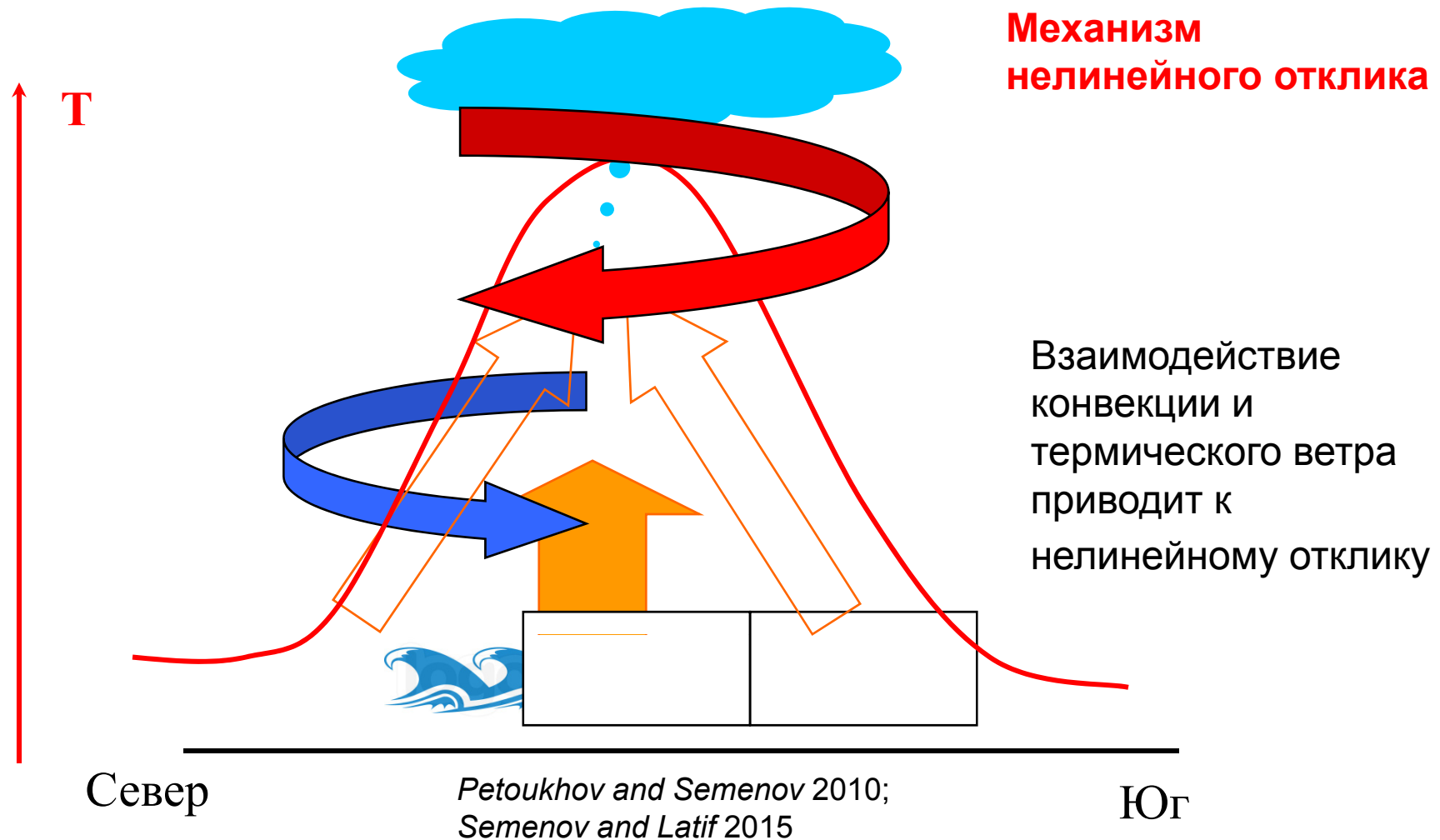
Модель: отклик зимней т-ры на аномалии льда в 2005-2012 гг., °C



Изменения доли покрытия Баренцева моря морскими льдами зимой, %

Semenov and Latif, 2015, ERL
Семенов 2016, Шукуров, Семенов, 2018, ФАО
Petoukhov and Semenov 2010, JGR

Прогресс в исследованиях арктических процессов в последнее десятилетие (динамика атмосферы, океана и морского льда)



Остающиеся нерешенными проблемы и актуальные задачи

Неопределенность данных

Причина арктического усиления до сих пор не определена

Каков вклад внешнего воздействия и внутренней изменчивости в климатические изменения в Арктике?

Какова причина потепления середины XX века?

Следует ли ожидать замедления темпов потепления в ближайшие десятилетия («циклы»)?

Есть ли «точки неустойчивости» в Арктической климатической системе и где они?

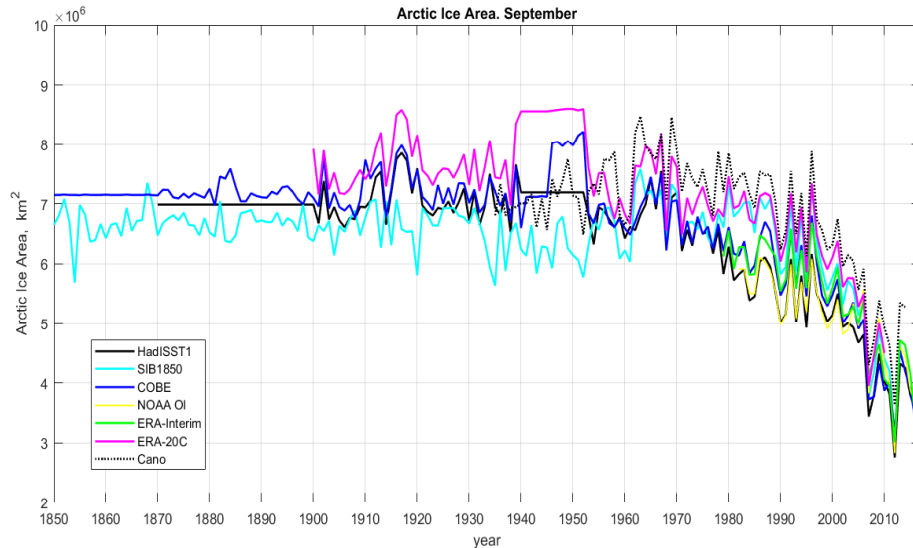
Как влияет ускоренное потепление в Арктике на погоду в средних широтах?
Становится погода более «дерганной» или более «спокойной»?
Влияние на экстремальные события?

Параметризации турбулентных потоков тепла в Арктике

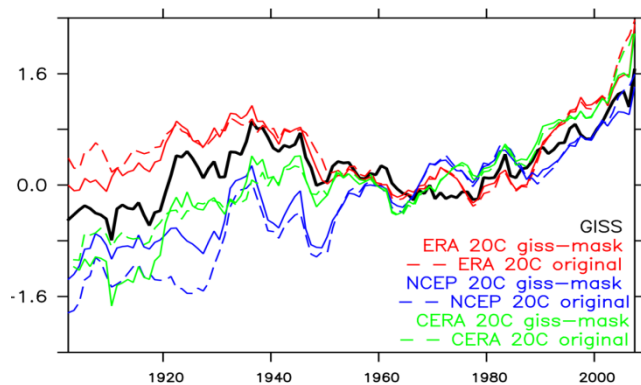
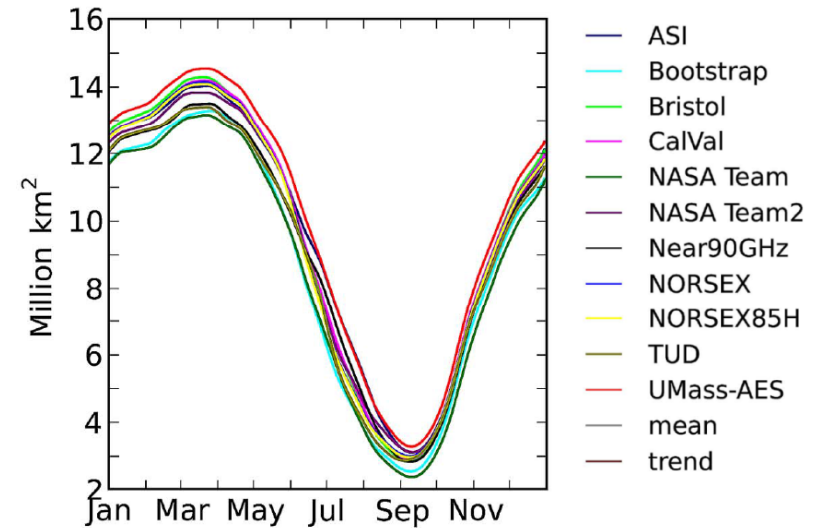
Остающиеся нерешенными проблемы и актуальные задачи

Неопределенность данных

Площадь арктических морских льдов в сентябре



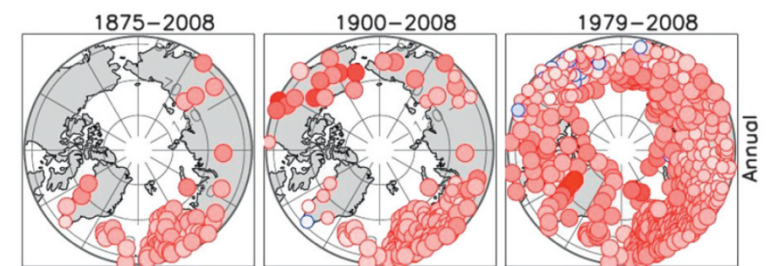
Сезонный ход ПМЛ по разным алгоритмам



Среднегодовая приповерхностная температура по данным реанализов XX века

Бокучава, Семенов, 2017

2012 Ivanova et al., 2012

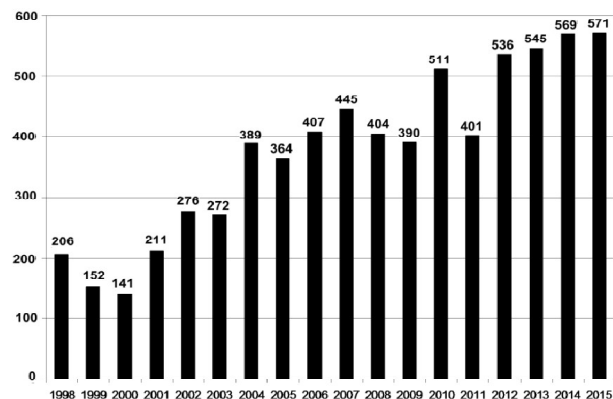


Бекряев et al., 2010

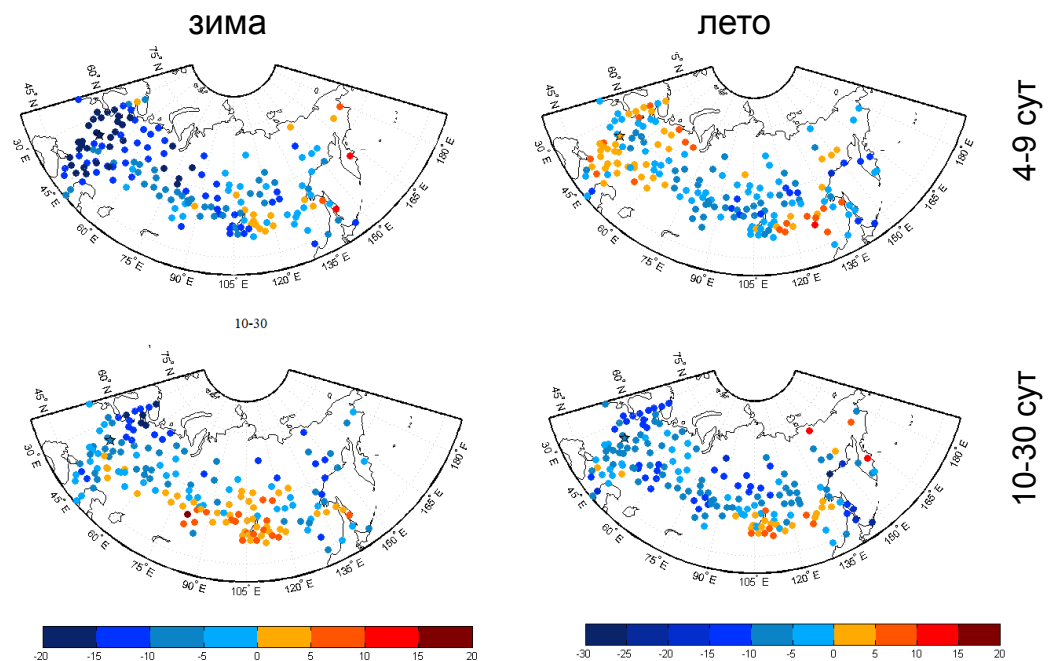
Остающиеся нерешенными проблемы и актуальные задачи

Как влияет ускоренное потепление в Арктике на погоду в средних широтах?
 Становится погода более «дерганной» или более «спокойной»?
 Влияние на экстремальные события?

Число опасных метеорологических явлений в России с конца 20 века увеличивается в среднем на 7% (25 событий) в год



Изменения σ среднесуточной температуры в синоптическом и «блокинговом» диапазонах (2000-2018)/(1970-1999), в %



Бабина, Семенов, 2019

Влияние процессов в Арктике на глобальный климат

“Can Arctic warm the Earth?”

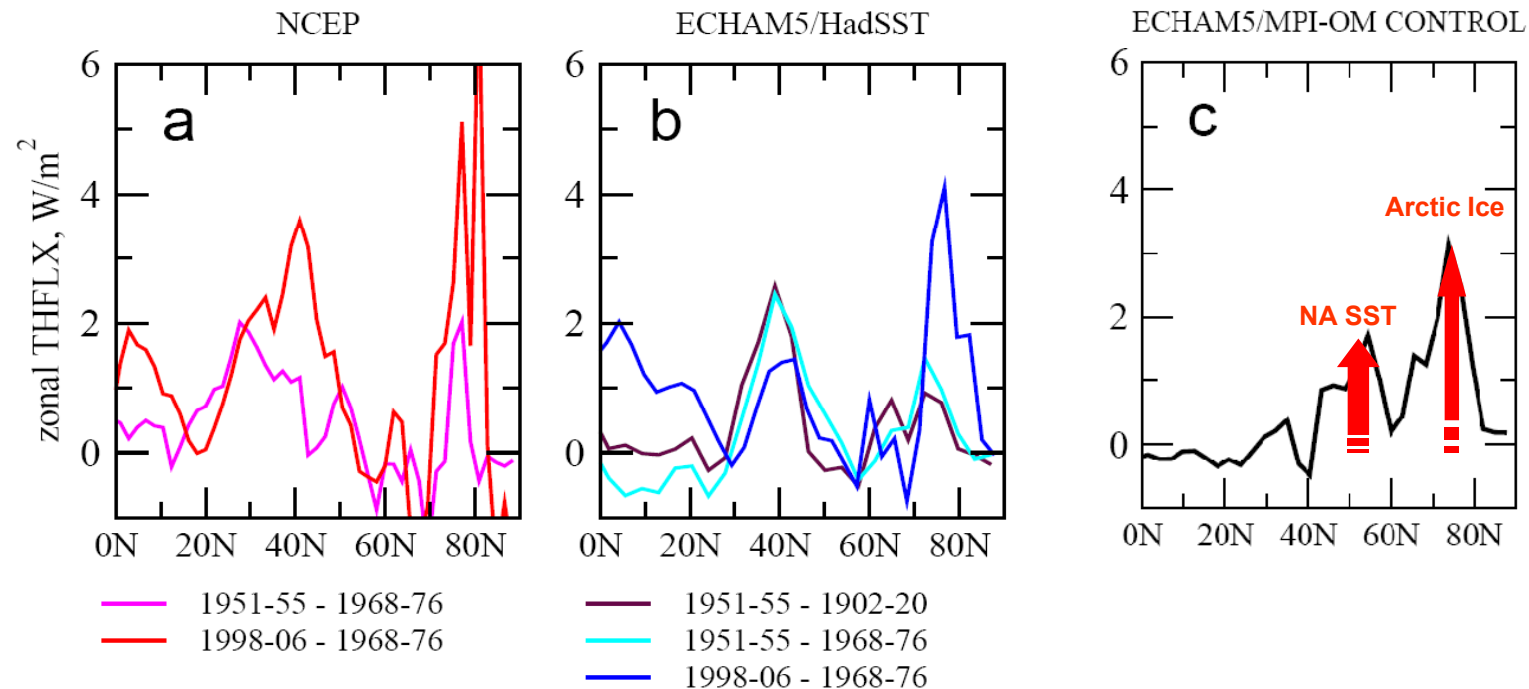
Могут ли процессы в Арктике влиять на глобальный климат?

R.S. Lindzen, 1994: “CLIMATE DYNAMICS AND GLOBAL CHANGE” Annu. Rev. Fluid Mech.

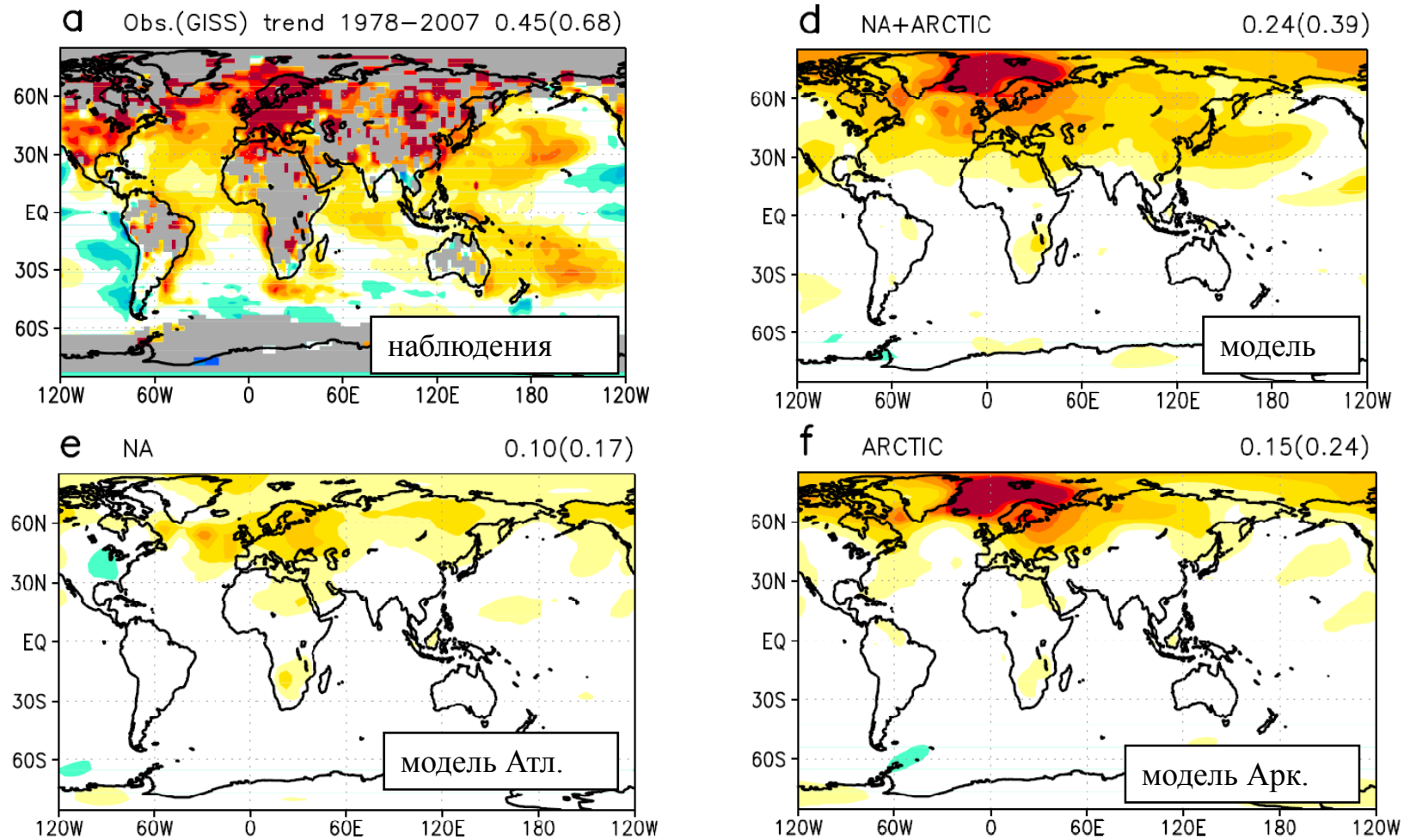
Уменьшение меридионального температурного градиента не обязательно должно быть следствием глобального потепления, но и глобальное потепление может быть следствием уменьшения меридионального температурного градиента

Влияние процессов в Арктике на глобальный климат

Зонально-осредненные аномальные турб. потоки тепла, связанные с АМО

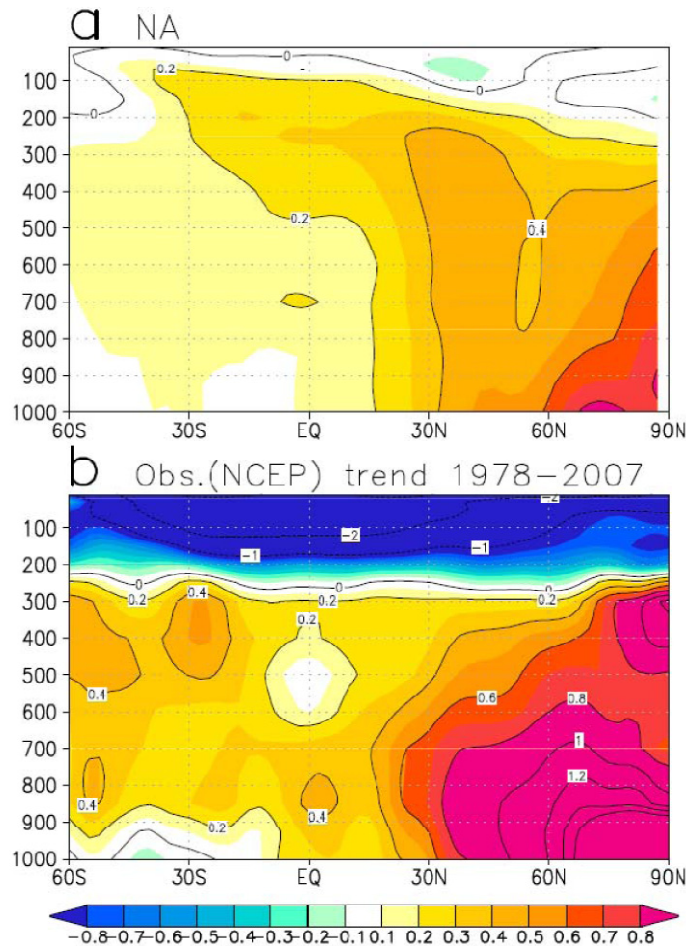


Влияние процессов в Арктике на глобальный климат



Semenov et al. 2010; Семенов и др., 2013; 2015

Влияние процессов в Арктике на глобальный климат



Изменения ПТВ (в $^{\circ}\text{C}$ и в процентах от наблюдаемого тренда) в СП и ЮП и глобально в экспериментах с ECHAM5/MLO с аномальными потоками тепла

	NH	SH	GLOB
ATLICE	0.39 (57%)	0.08 (36%)	0.24 (53%)
ATL	0.17 (25%)	0.04 (18%)	0.10 (22%)
ICE	0.24 (35%)	0.06 (27%)	0.15 (33%)
OBS*	0.68	0.22	0.45

* тренд 1978-2007 гг. по данным GISS

**Арктика – не только кухня погоды
но и
кухонька глобального климата**

Спасибо за внимание!

