

Динамика площади арктических морских льдов в прошлом и будущем: новая реконструкция и сценарные прогнозы

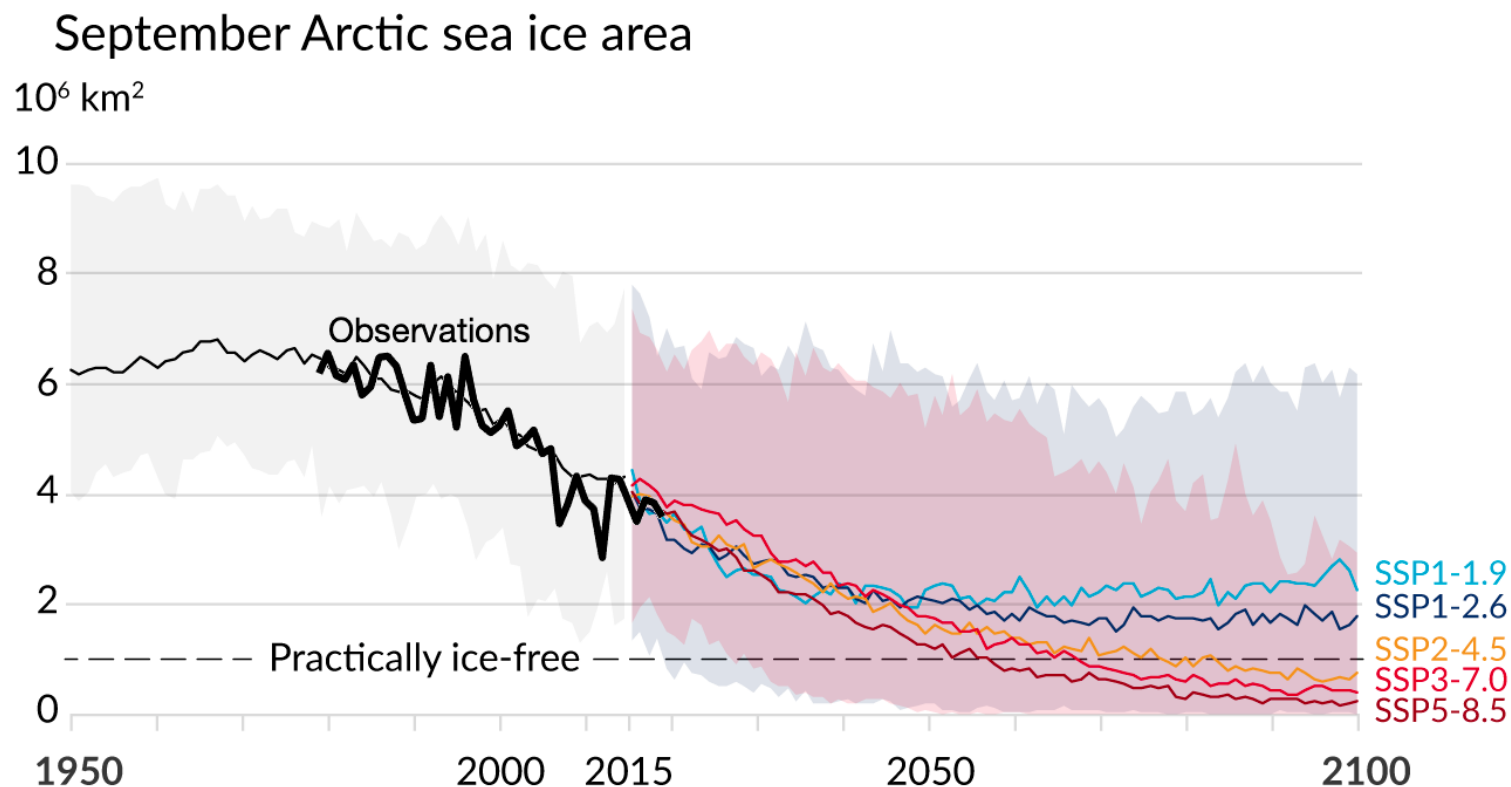
Семенов В.А.^{1,2}, Черенкова Е.А.^{1,2}, Алдонова Т.А.^{1,2}, Романенко В.А.¹

(1) Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН

(2) Институт географии РАН

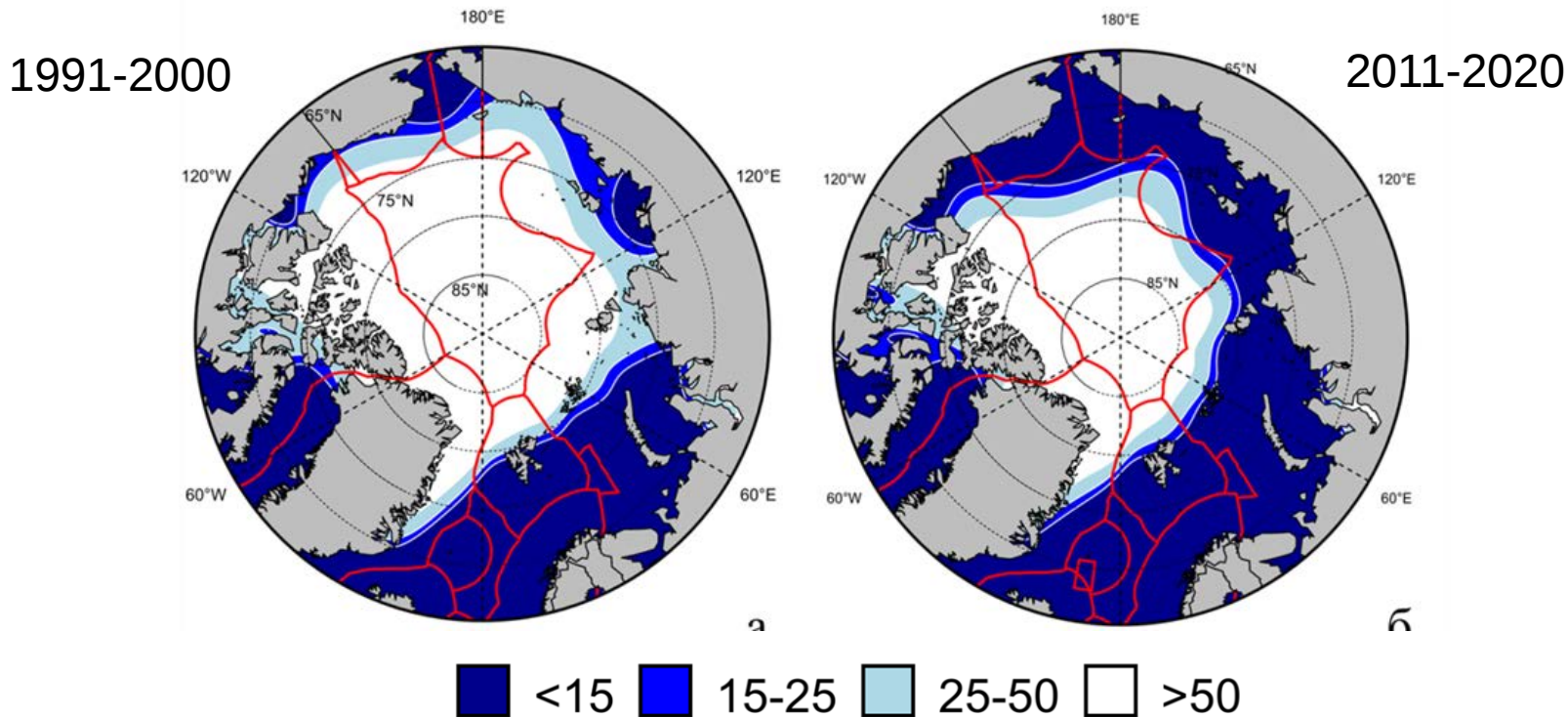
vasemenov@ifaran.ru

Оценки будущих изменений арктических морских льдов в XXI веке по данным ансамбля моделей CMIP6 для различных сценариев антропогенного воздействия (IPCC AR6)



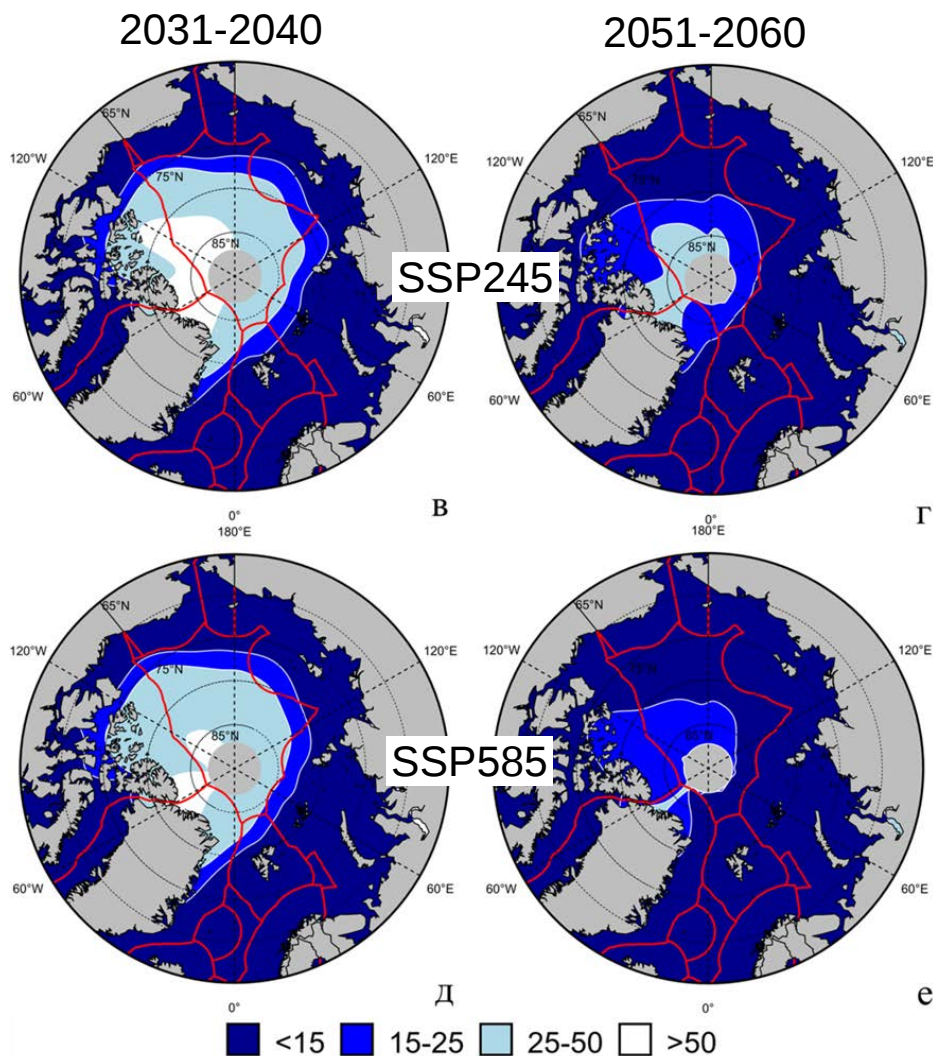
Сокращение площади арктических морских льдов и исключительная экономическая зона России

Концентрация морских льдов в Арктике в сентябре (%) по спутниковым данным



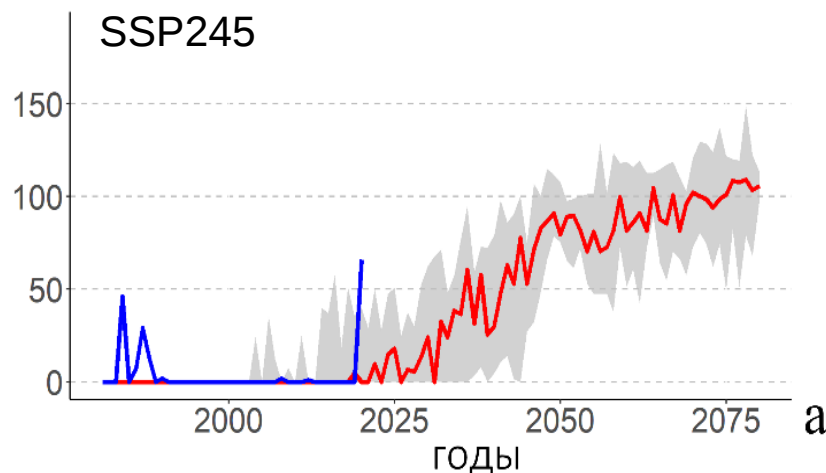
Границы исключительных экономических зон показаны линиями красного цвета

Сокращение площади арктических морских льдов и исключительная экономическая зона России

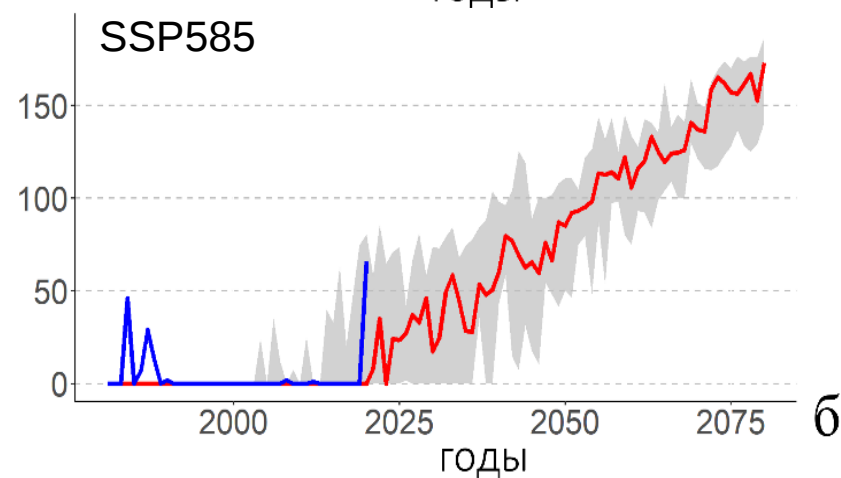


Концентрация морских льдов в Арктике в сентябре (%), средняя для периодов 2031–2040 гг. (в, д) и 2051–2060 гг. (г, е) по данным ансамбля моделей климата при сценариях антропогенного воздействия SSP245 (в, г) и SSP585 (д, е).

Сокращение площади арктических морских льдов и исключительная экономическая зона России

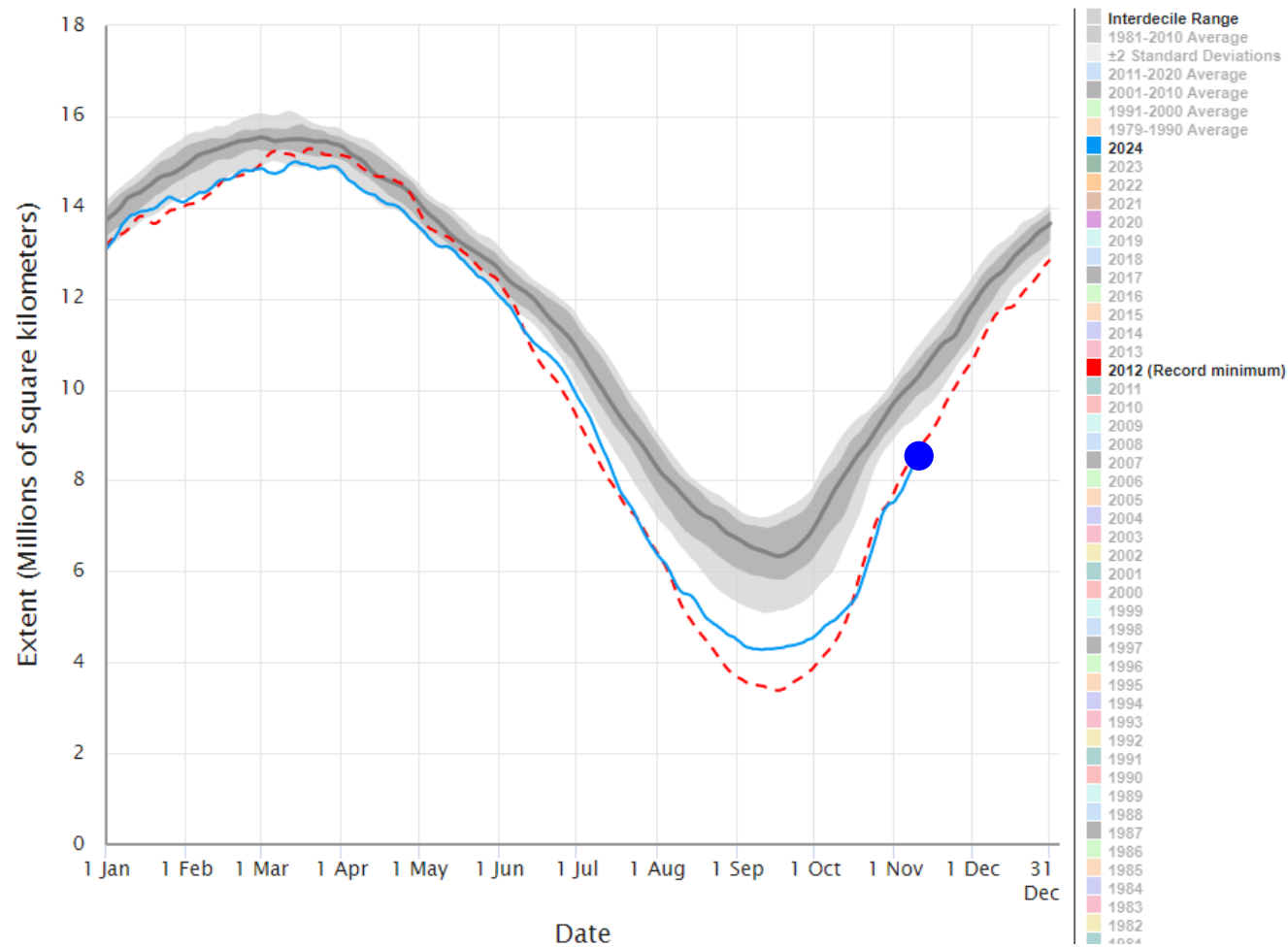


Продолжительность периода открытой воды (дни), в период 1981–2000 гг. по спутниковым данным (кривая синего цвета) и в период 1981–2080 гг. по ансамблю климатических моделей CMIP6 (кривая красного цвета, медианное значение) согласно сценариям SSP245 (а) и SSP585 (б). Серым цветом показан интервал между 25% и 75% перцентилями модельного разброса.



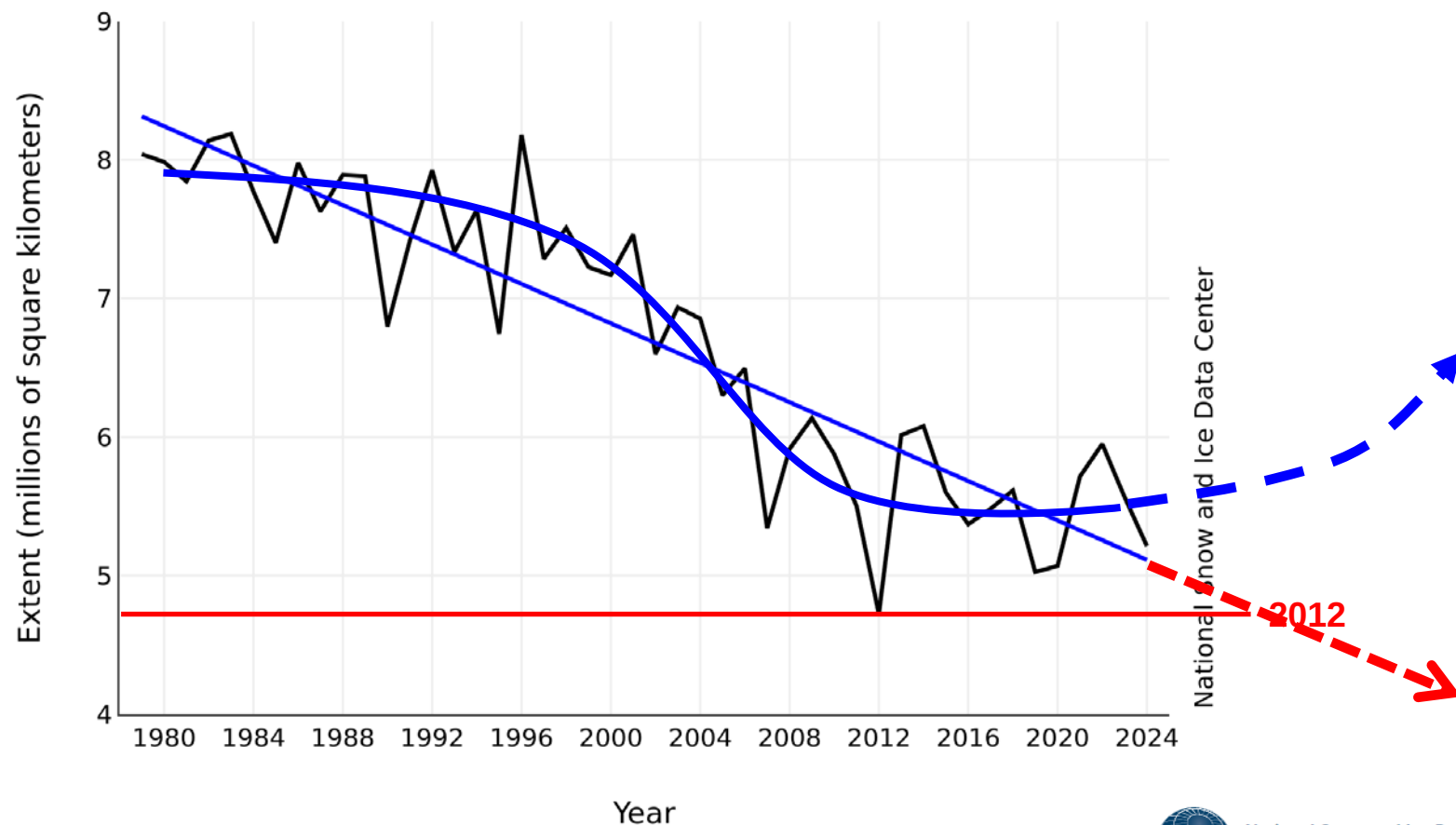
Семенов, Черенкова, 2023, 2025 (ДАН)

Seasonal cycle of the Arctic sea ice extent



National Snow and Ice Data Center
a part of CIRES at the University of Colorado Boulder

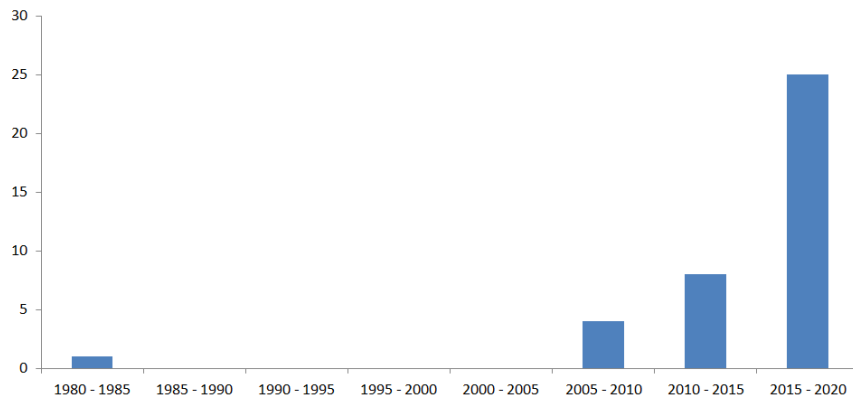
Average Monthly Arctic Sea Ice Extent August 1979 - 2024



National Snow and Ice Data Center
a part of CIRES at the University of Colorado Boulder

Минимум 2012 г. – случайная аномалия или проявление долгопериодной тенденции?

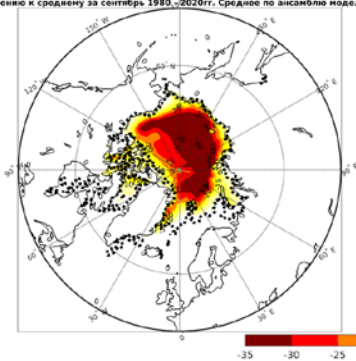
Функция распределения периодов минимальных значений площади льда в Арктике по годам по моделям CMIP6 1980-2020гг.



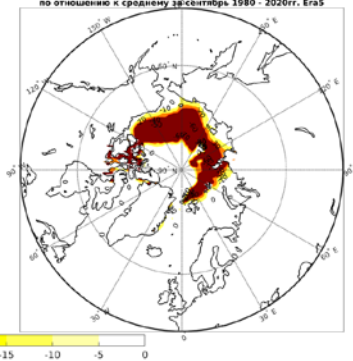
Распределение пятилеток с минимумами площади льда за период 1980-2020 гг. в моделях CMIP6

CMIP6 аномалия концентрации ERA5

Аномалия концентрации льда в сентябре для года с минимальной площадью льда по отношению к среднему за сентябрь 1980 - 2020гг. Среднее по ансамблю моделей CMIP6

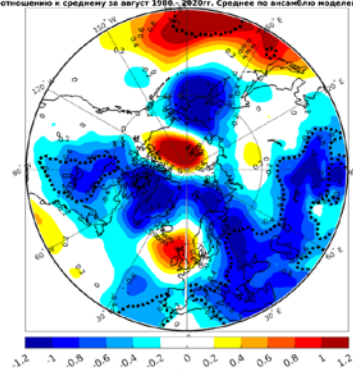


Аномалия концентрации льда в сентябре для 2012 года по отношению к среднему за сентябрь 1980 - 2020гг. ERA5

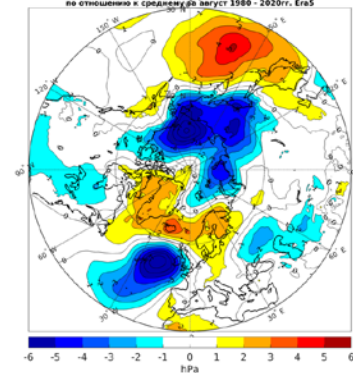


CMIP6 давление воздуха ERA5

Аномалия атмосферного давления в августе для года с минимальной площадью льда по отношению к среднему за август 1980 - 2020гг. Среднее по ансамблю моделей CMIP6



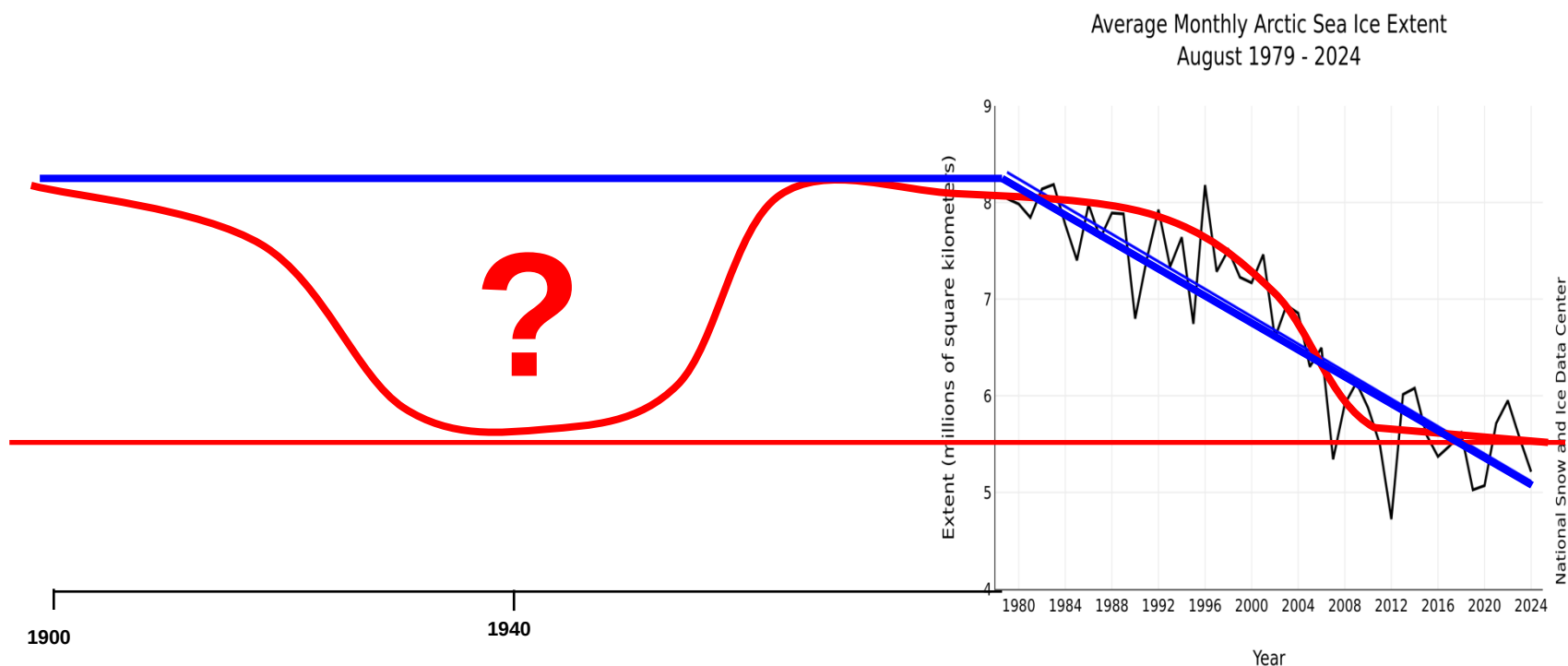
Аномалия атмосферного давления в августе для 2012 года по отношению к среднему за август 1980 - 2020гг. ERA5



В.А. Романенко, среда, Зеленый зал, 11:15

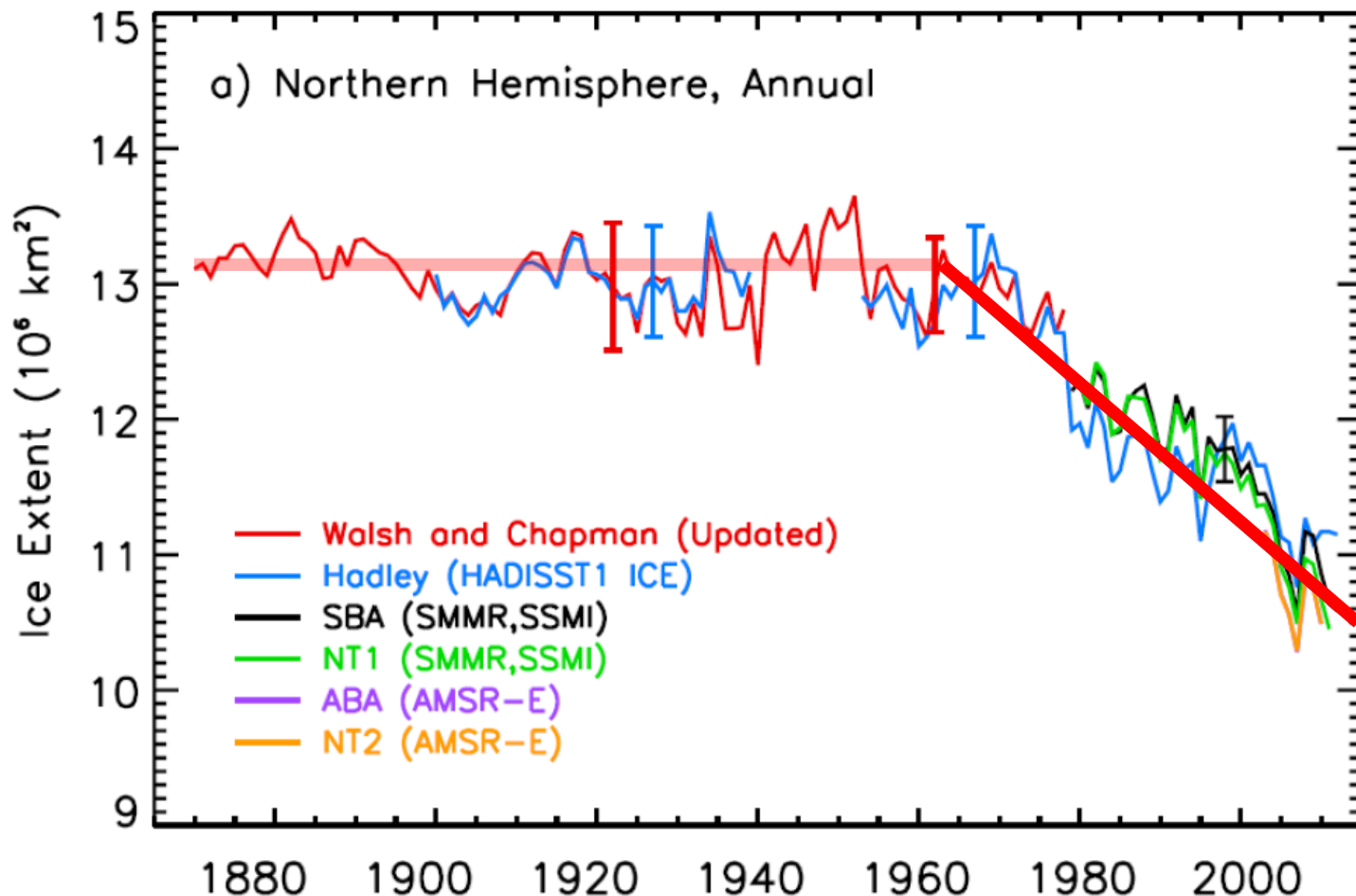
Как менялась площадь арктических морских льдов в первой половине XX века?

Насколько велика амплитуда естественных вариаций площади льда?



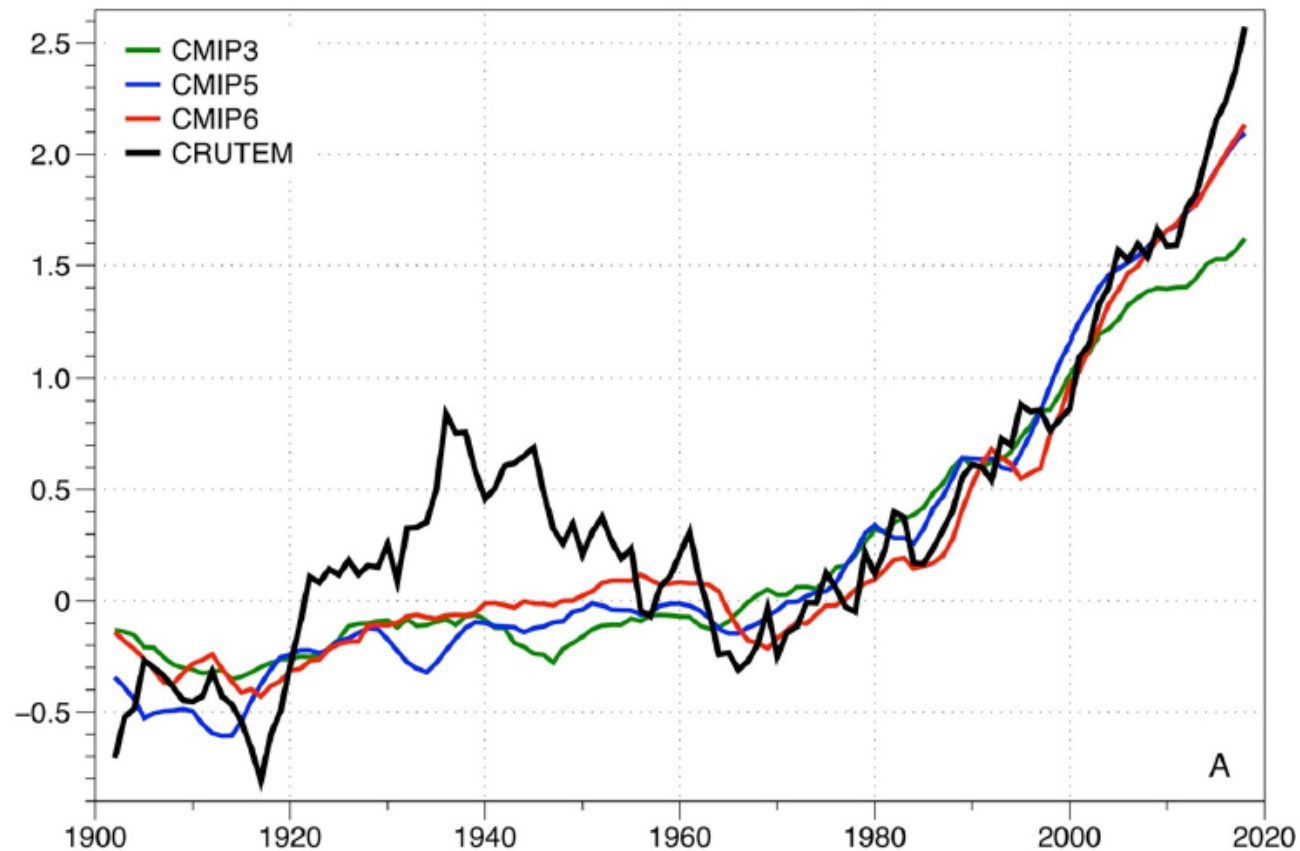
Changes of the Arctic sea ice extent

Annual mean Northern Hemisphere sea ice extent, mln.km² according to different gridded datasets (**IPCC AR5, 2013**)



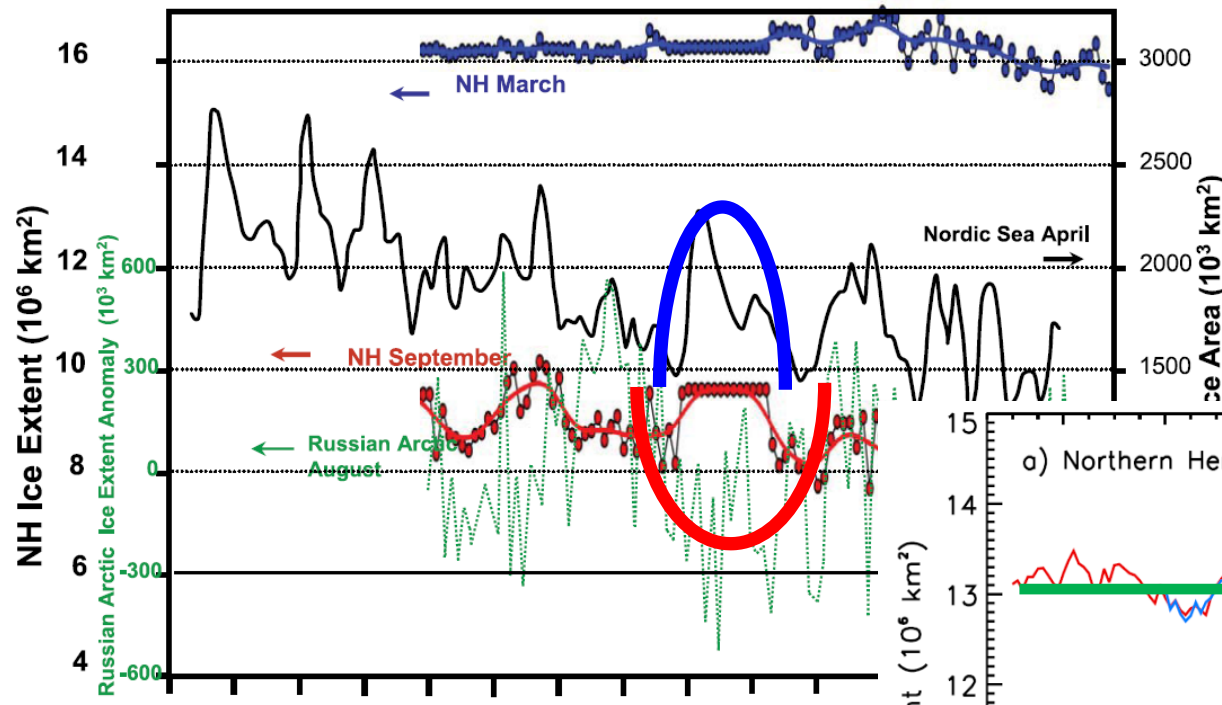
Early Twentieth Century Warming in the Arctic

Annual Arctic surface air temperature anomalies

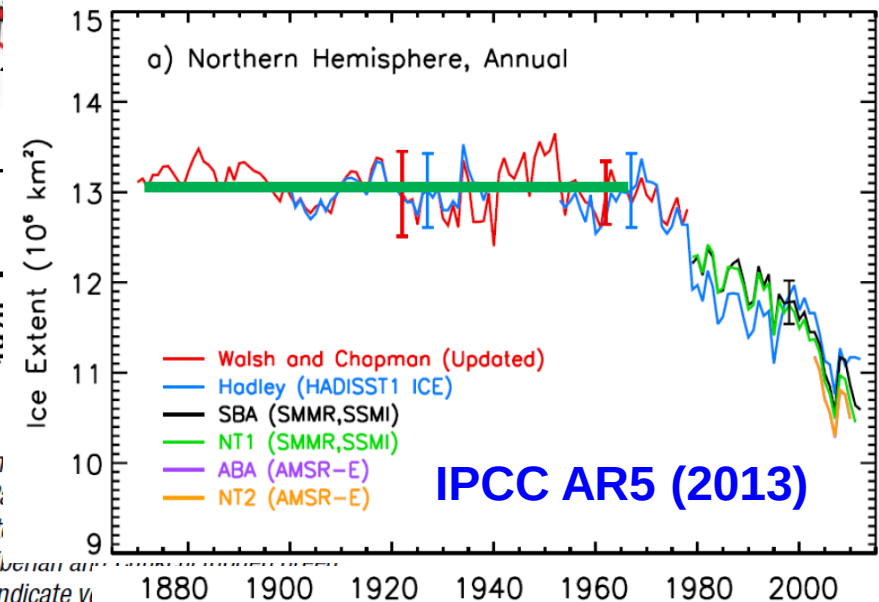


Bokuchava and Semenov , 2021, Earth Sci. Rev.

Arctic sea ice area during the Early Twentieth Century Warming



IPCC AR4 (2007)



IPCC AR5 (2013)

Sea Ice In the Climate System A Russian View

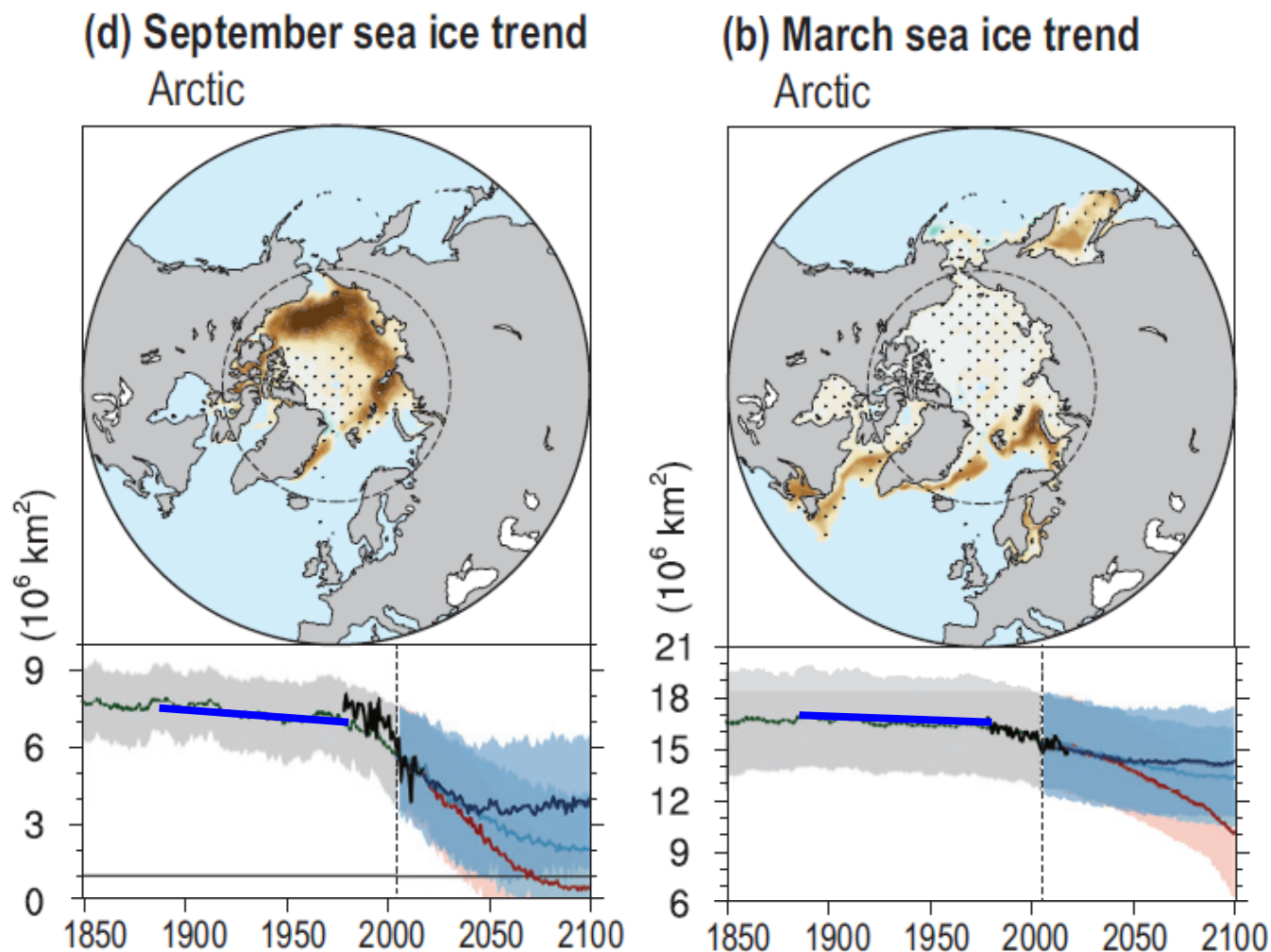
Special Report #16

13 March 2013

V.F. Zakharov

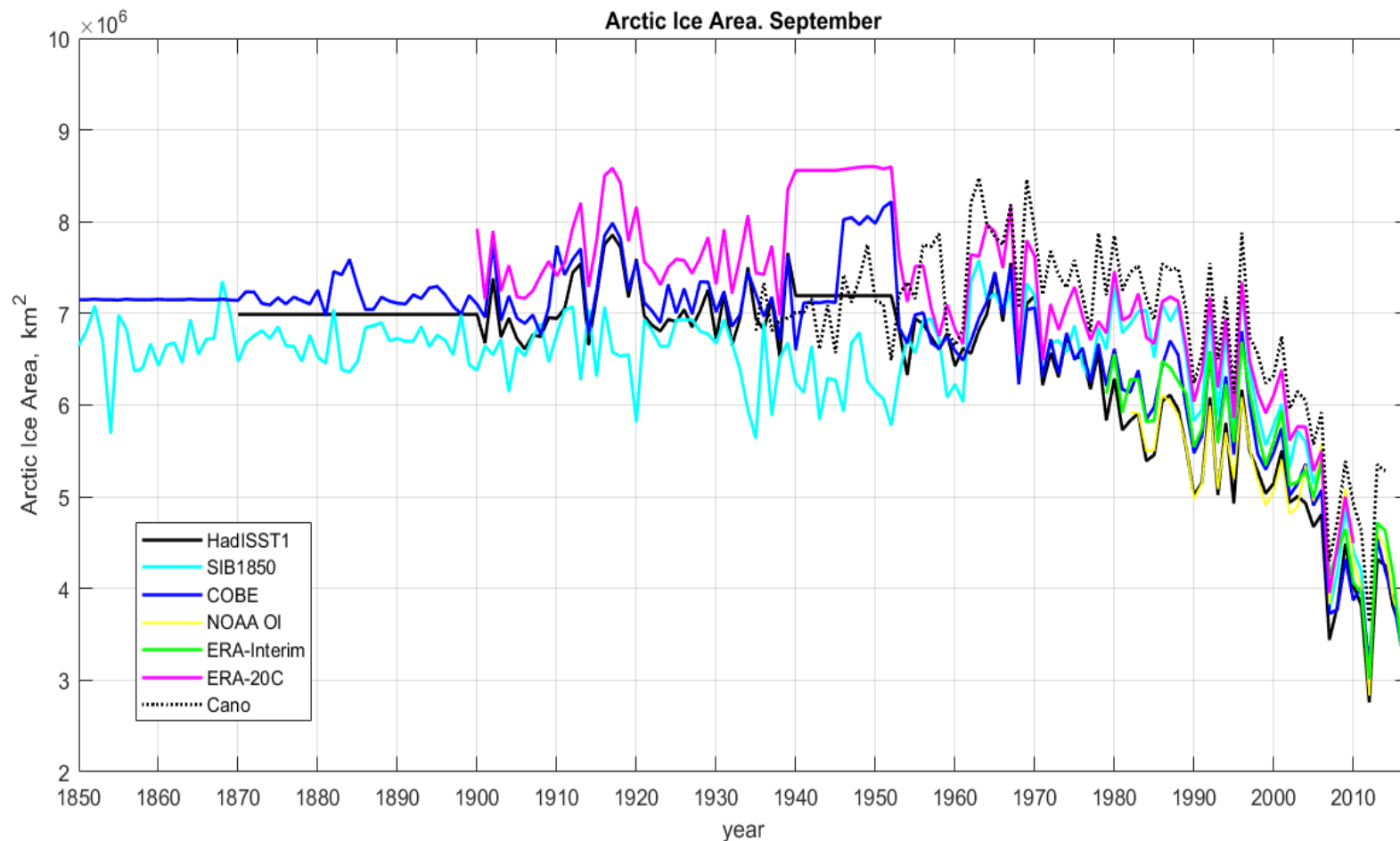
State Research Center of the Russian Federation-Arctic and Antarctic Research Institute
Federal Service for Hydrometeorology and Environment Monitoring
St. Petersburg, Russian Federation

Arctic sea ice area during the Early Twentieth Century Warming



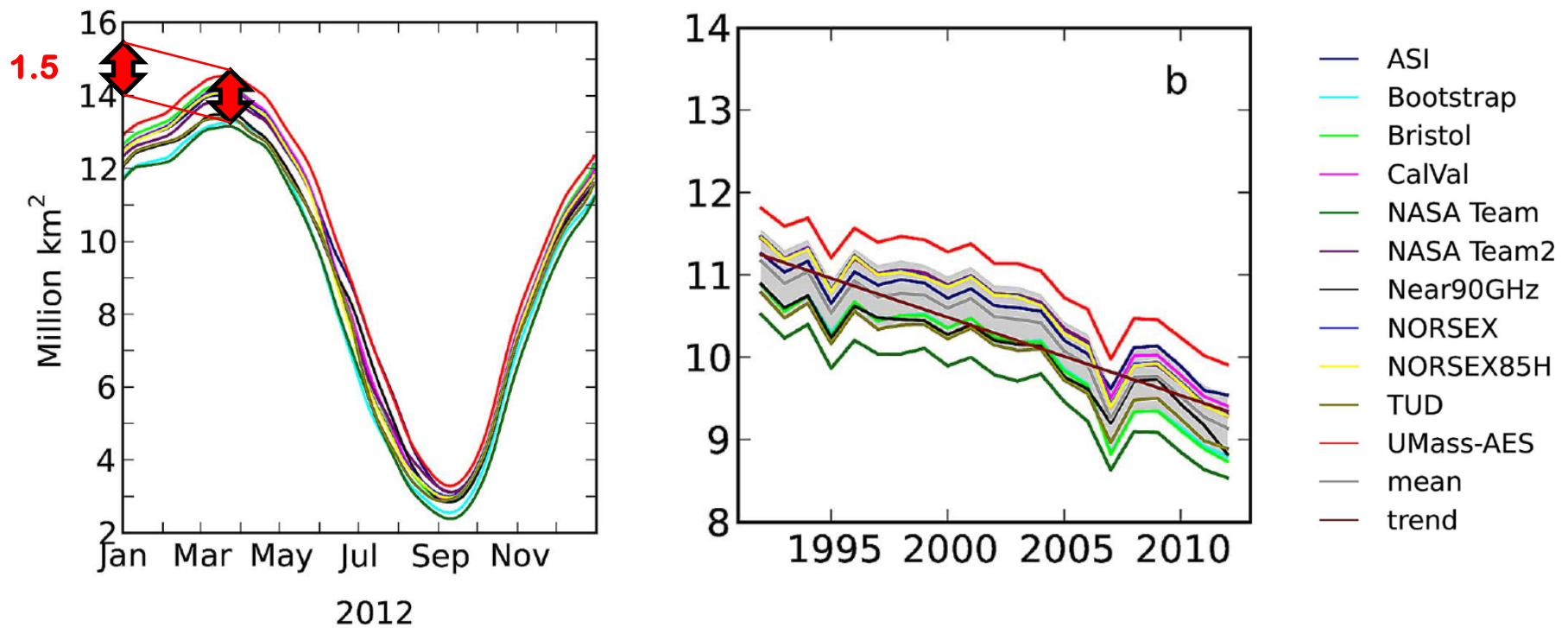
How uncertain are modern historical sea ice data?

Northern Hemisphere sea ice area (in mln.km²) in September according to different datasets



How uncertain are modern sea ice satellite retrieval algorithms?

Northern Hemisphere September sea ice area (in mln.km²) obtained using the same satellite brightness temperature data (SMMR, SSM/I, SSMIS), but using different sea ice retrieval algorithms

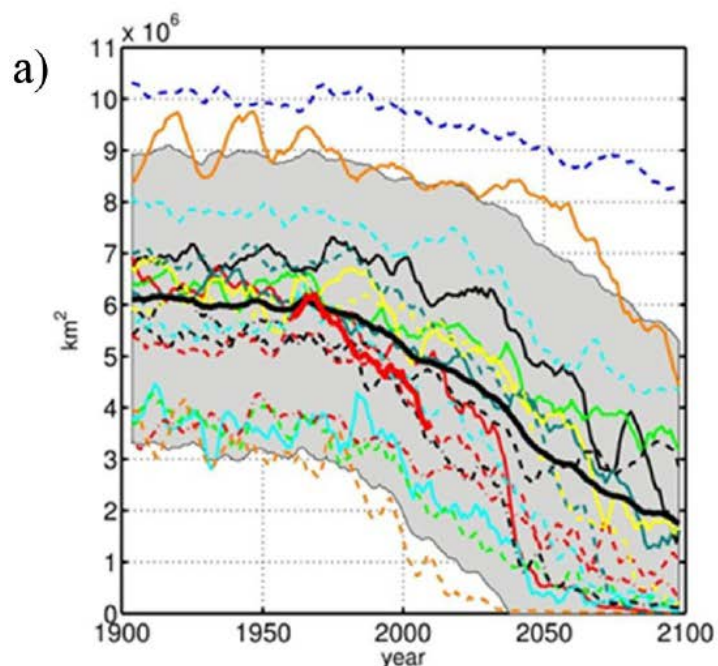


Ivanova et al., 2012

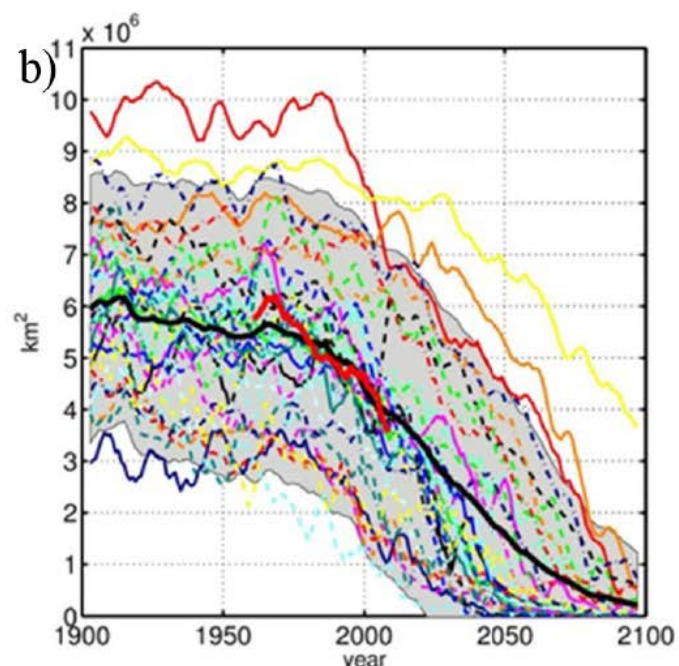
Неопределенность изменений площади морских льдов в моделях климата

Площадь арктических морских льдов в сентябре
в **моделях климата** и по **данным наблюдений** (млн.км²)

CMIP3



CMIP5



Semenov et al., 2015

Sea ice area in climate models: How is it turned?

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

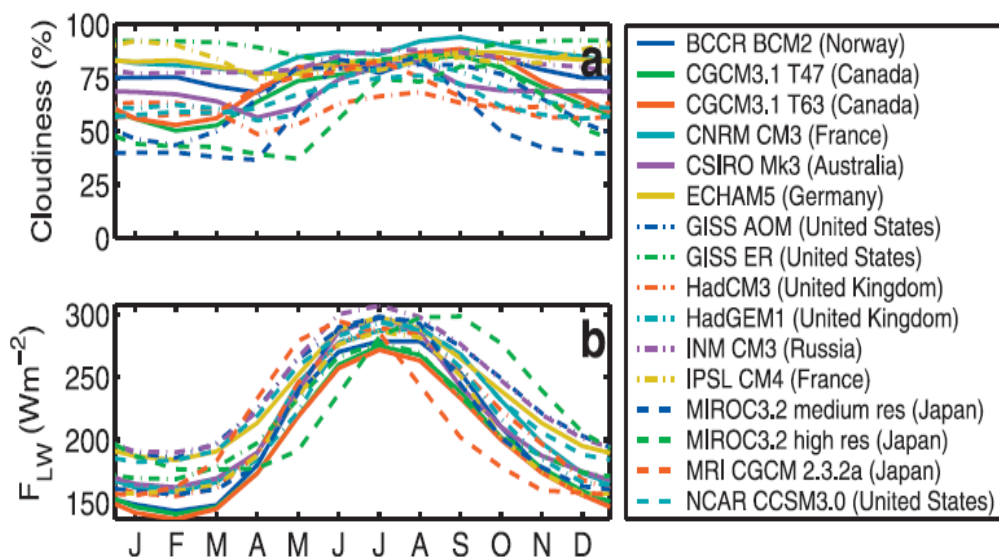


On the reliability of simulated Arctic sea ice in global climate models

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

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

Annual cycle of cloudiness and downward longwave radiation DLWR in CMIP3 models



Albedo of fresh ice with snow 0.9, melting ice 0.4

Dependence of annual sea ice thickness on DLWR and albedo

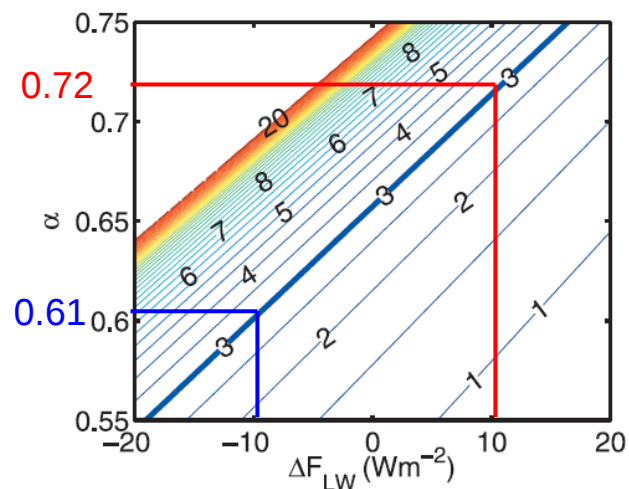


Figure 3. Equilibrium ice thickness in the idealized analytical model (equation 3) as a function of absorbed radiation for the range of downwelling longwave radiative fluxes predicted by GCMs (ΔF_{LW}) and varying ice albedo (α).

Short Communication

On assessment of the relationship between changes of sea ice extent and climate in the Arctic

Genrikh Alekseev,* Natalia Glok and Alexander Smirnov

Ocean–Air Interaction Department, Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

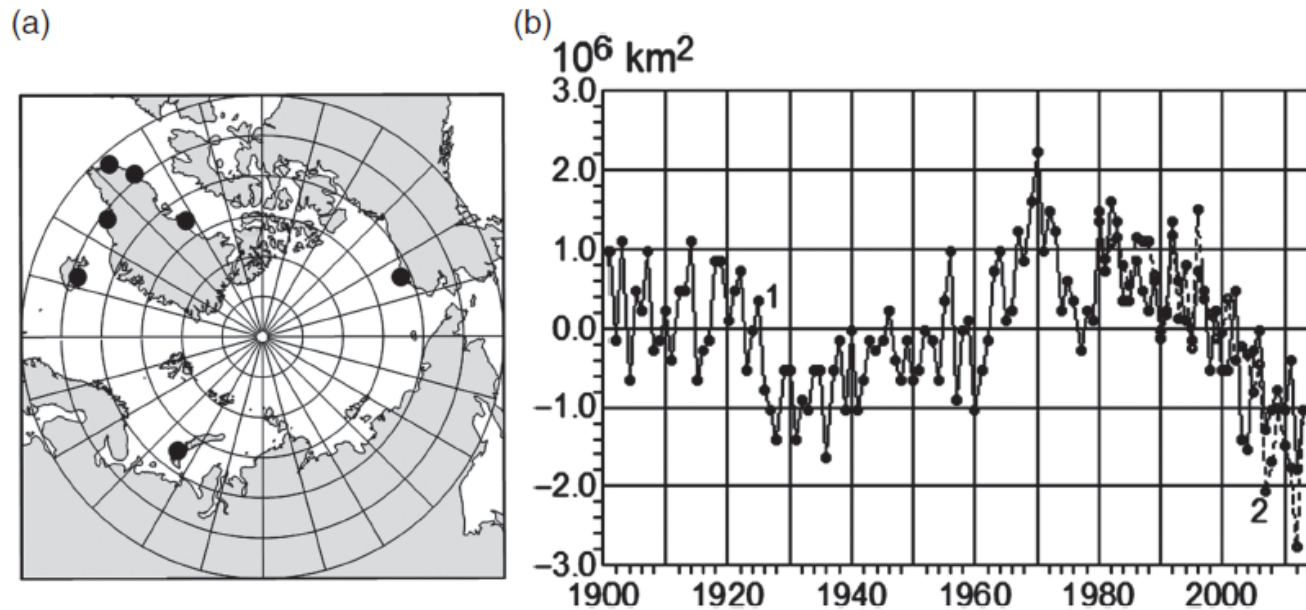


Figure 3. (a) Positions of seven meteorological stations in the marine Arctic with collected observations since 1900; (b) (1) reconstructed September SIE in the Arctic from 1900 to 2013 and (2) observed SIE for 1980–2013.

Alekseev et al., 2015

Re-calibration of Arctic sea ice extent datasets using Arctic surface air temperature records

Ronan Connolly, Michael Connolly & Willie Soon

To cite this article: Ronan Connolly, Michael Connolly & Willie Soon (2017) Re-calibration of Arctic sea ice extent datasets using Arctic surface air temperature records, Hydrological Sciences Journal, 62:8, 1317-1340, DOI: [10.1080/02626667.2017.1324974](https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1324974)

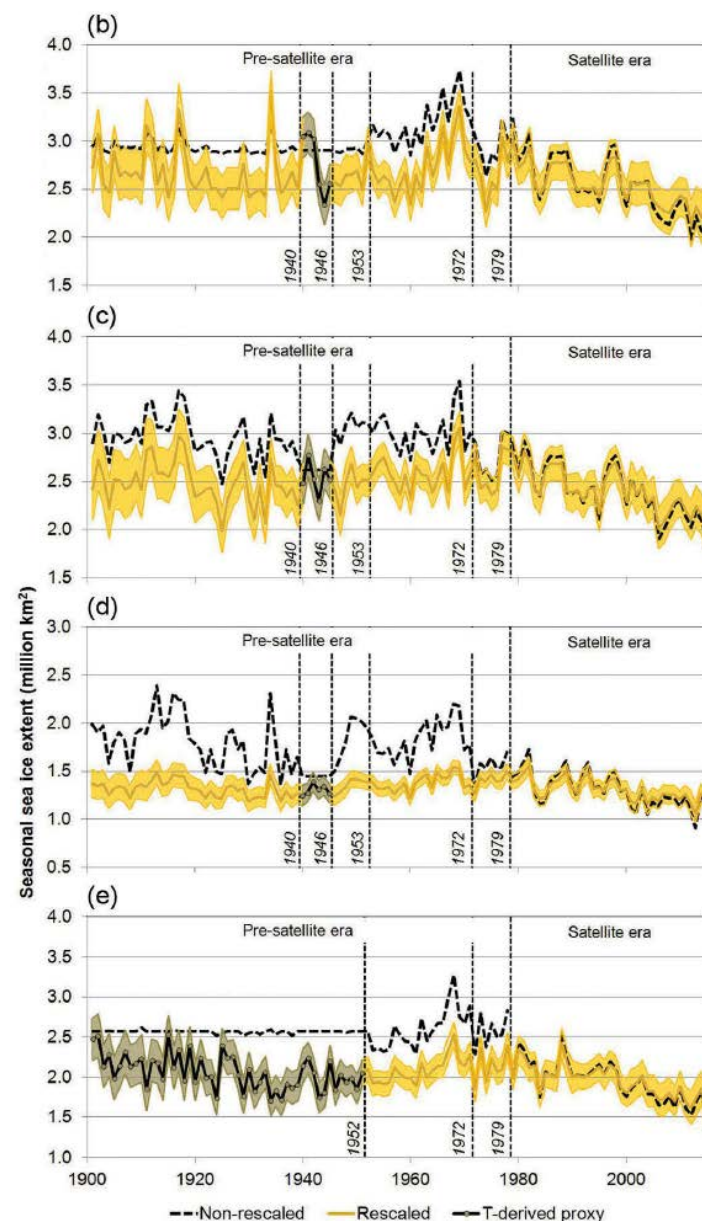
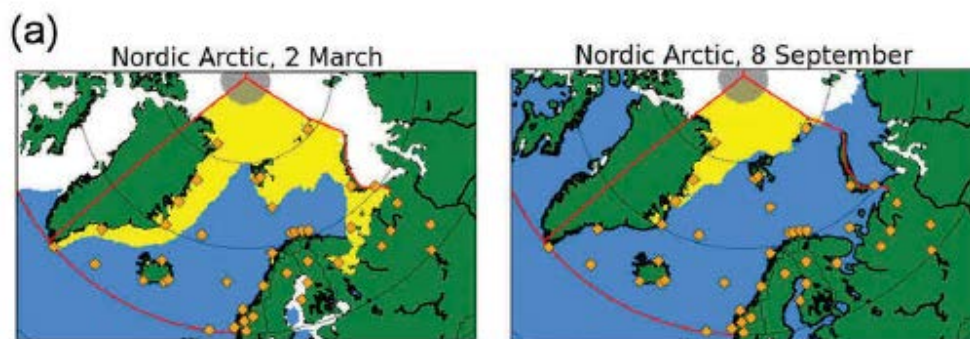


Figure 8. (a) The mean sea ice extents, and station locations for the Nordic Arctic region. (b)–(e) Nordic Arctic sea ice extent trends before and after rescaling for each season: (b) winter, (c) spring, (d) summer, (e) autumn. Note that the y-axes are different for each season.

A DATABASE FOR DEPICTING ARCTIC SEA ICE VARIATIONS BACK TO 1850

JOHN E. WALSH, FLORENCE FETTERER, J. SCOTT STEWART, and
WILLIAM L. CHAPMAN

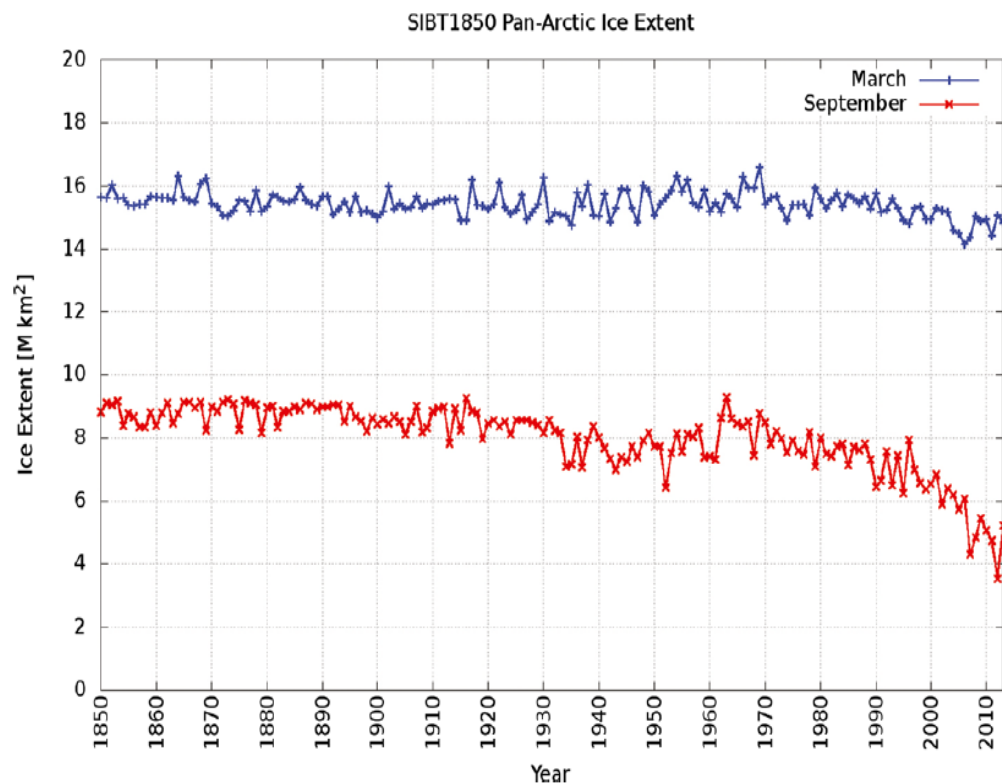


FIG. 8—Time series of pan-Arctic ice extent, 1850–2013, for March (blue line) and September (red line).

Walsh et al., 2017

Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER

10.1029/2019GL086843

Arctic Sea-Ice Variability During the Instrumental Era

M. Kathleen Brennan¹ , Gregory J. Hakim¹ , and Edward Blanchard-Wrigglesworth¹ 

¹Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Seattle, WA, USA

Key Points:

- Data assimilation is a skillful technique for reconstructing

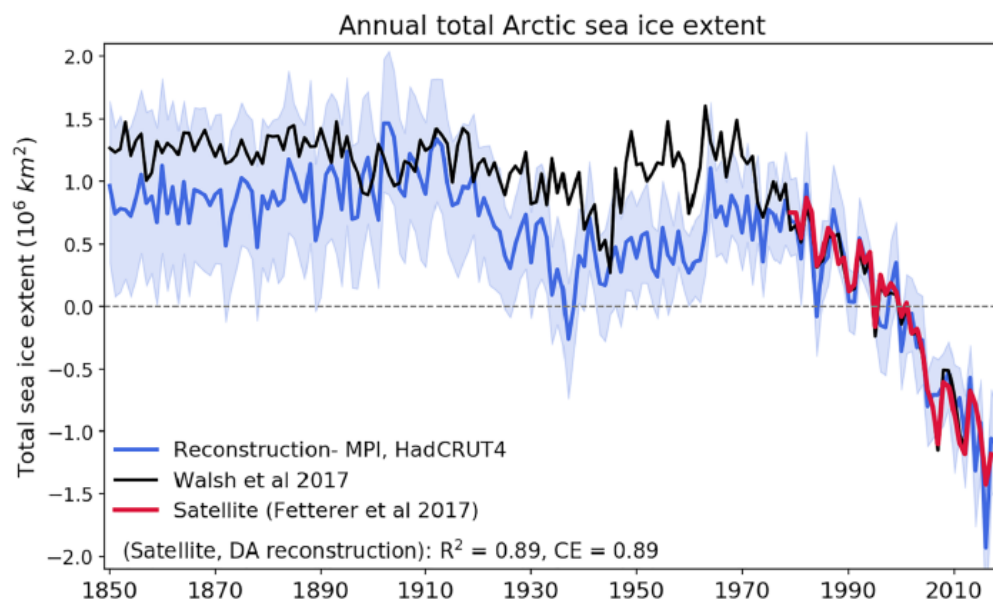


Figure 3. Reconstructed Arctic SIE from DA (blue), Walsh et al. (2017) (black), and satellite observations (red). For our reconstructions, annually averaged HadCRUT temperature data were assimilated with a prior ensemble drawn from the MPI Last Millennium simulation. The blue shaded region indicates the 2.5–97.5th percentile range of reconstructed ensemble members. Anomalies are centered about 1979–2013.

Brennan et al., 2020

• Original Paper •

Arctic Sea Ice Variations in the First Half of the 20th Century: A New Reconstruction Based on Hydrometeorological Data[✧]

Vladimir A. SEMENOV^{1,2}, Tatiana A. ALDONINA^{1,2}, Fei LI³,
Noel Sebastian KEENLYSIDE^{3,4}, and Lin WANG⁵

¹*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow 119017, Russia*

²*Institute of Geography RAS, Moscow 119017, Russia*

³*Geophysical Institute, University of Bergen and Bjerknes Centre for Climate Research, Bergen 5007, Norway*

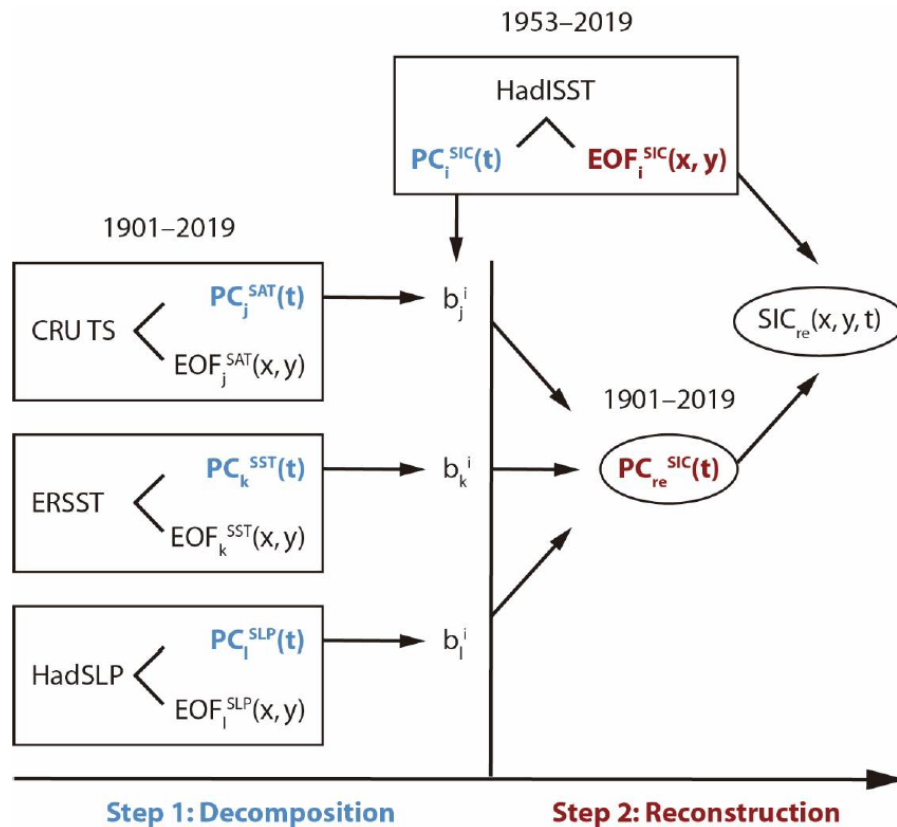
⁴*Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen 5007, Norway*

⁵*Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

(Received 4 November 2023; revised 15 June 2024; accepted 21 June 2024)

Semenov et al., 2024

Method: EOF decomposition, regression models for PCs



$$SIC(x, y, t) = \sum_{i=1}^{N=K} PC_i^{SIC}(t) EOF_i^{SIC}(x, y),$$

$$SAT(x, y, t) = \sum_{j=1}^{N=M1} PC_j^{SAT}(t) EOF_j^{SAT}(x, y),$$

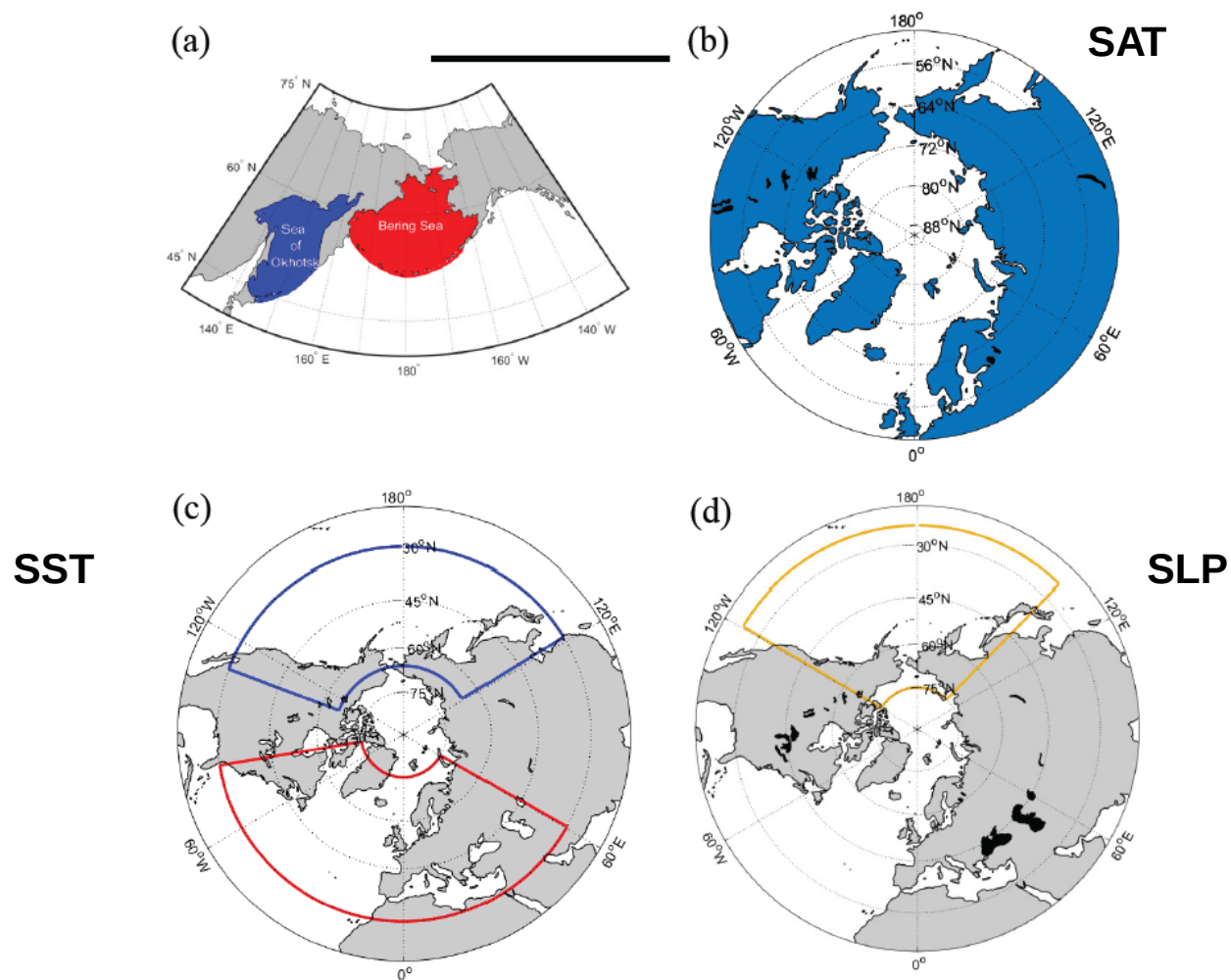
$$SST(x, y, t) = \sum_{k=1}^{N=M2} PC_k^{SST}(t) EOF_k^{SST}(x, y),$$

$$SLP(x, y, t) = \sum_{l=1}^{N=M3} PC_l^{SLP}(t) EOF_l^{SLP}(x, y),$$

$$PC_{re}^{SIC}(i, t) = \sum_{j=1}^{N=M1} PC_j^{SAT} b_j^i + \sum_{k=1}^{N=M2} PC_k^{SST} b_k^i + \sum_{l=1}^{N=M3} PC_l^{SLP} b_l^i,$$

$$SIC_{re}(x, y, t) = \sum_{i=1}^{N=K} PC_{re}^{SIC}(t) EOF_i^{SIC}(x, y).$$

Regression model's predictors: SAT, SST, SLP



Arctic sea ice area as **reconstructed**, in HadISST1 and **Walsh SIBT1850** data

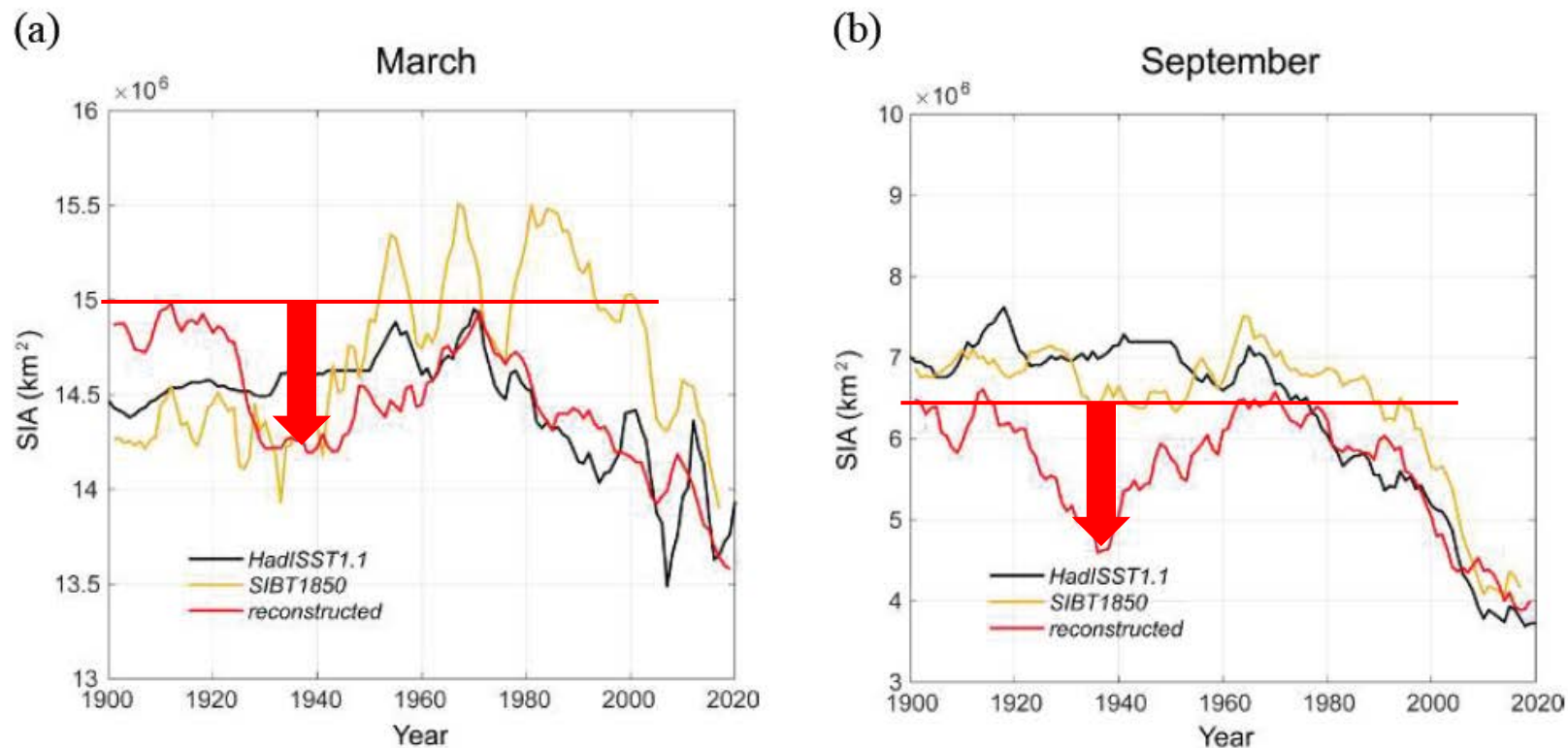


Fig. 1. Arctic SIA (units: km^2) in (a) March and (b) September according to HadISST1.1, SIBT1850, and the reconstructed data (IAPICE1). Data are smoothed with 5-yr running means.

March SIC trends for 1915-1945 period

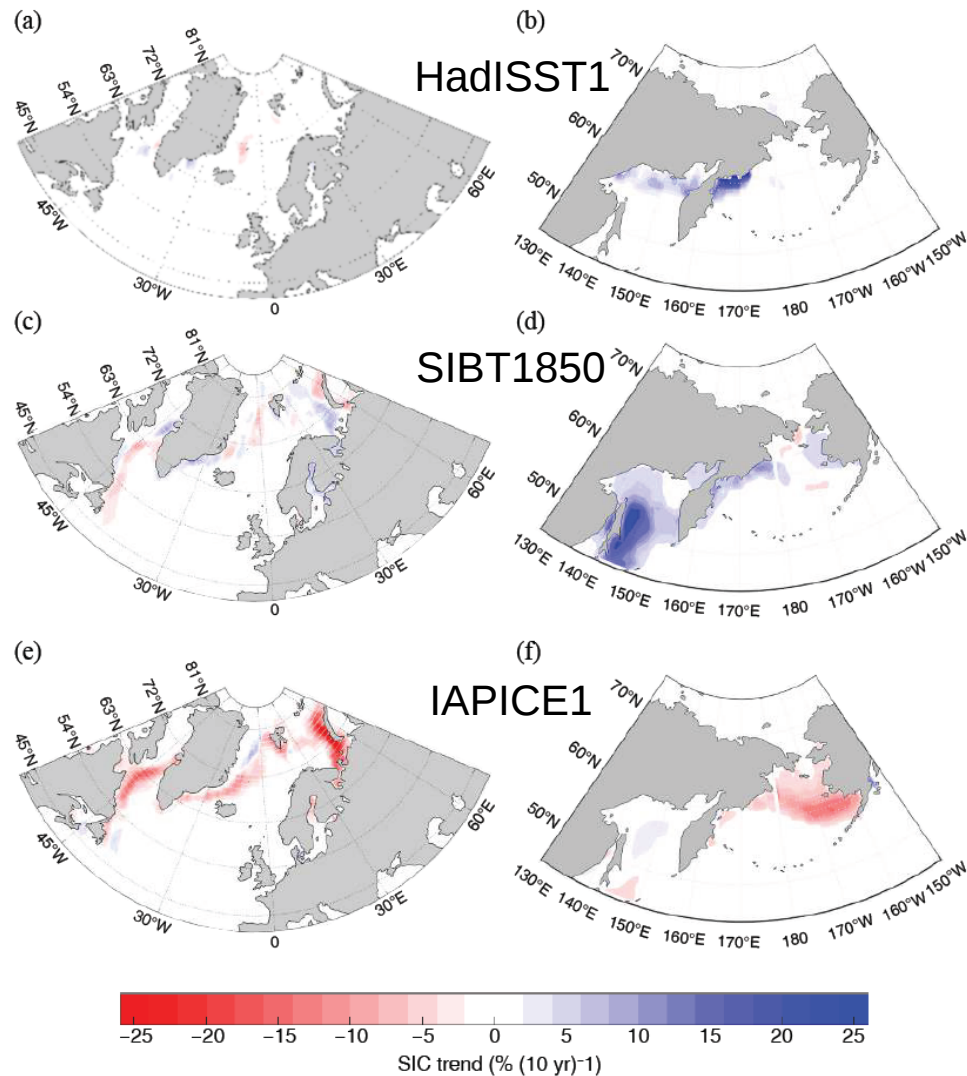
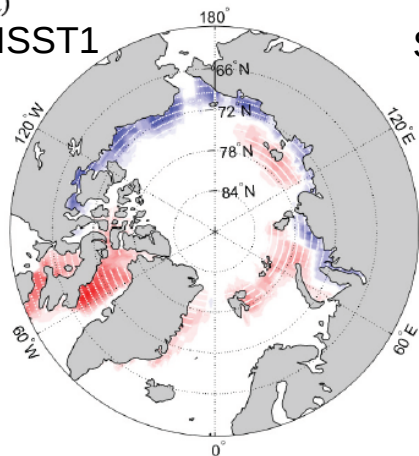
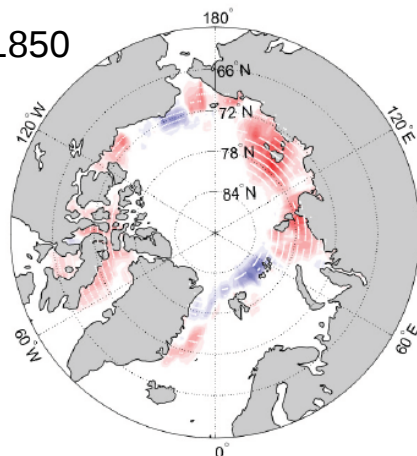


Fig. 3. March SIC trends [units: % (10 yr)⁻¹] in the (a, c, e) Atlantic and (b, d, f) Pacific sectors for the period 1915–45 according to (a, b) HadISST1.1, (c, d) SIBT1850, and (e, f) IAPICE1 data. White dots indicate trends significant at the 90% confidence level.

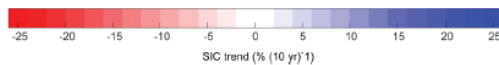
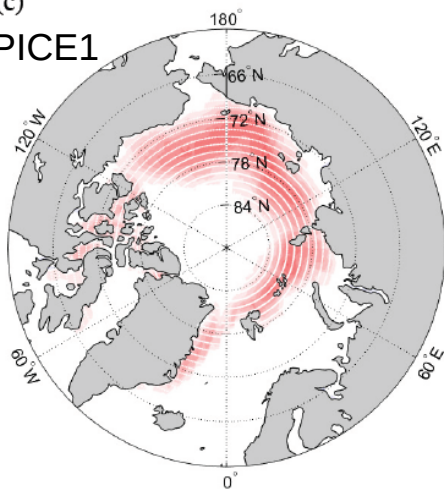
(a)
HadISST1



(b)
SIBT1850



(c)
IAPICE1



September SIC trends for 1915-1945 period

Fig. 4. September SIC trends [units: $\% (10 \text{ yr})^{-1}$] for the period 1915–45 according to (a) HadISST1.1, (b) SIBT1850, and (c) IAPICE1 data. White dots indicate trends significant at the 90% confidence level.

September sea ice area in different Arctic seas

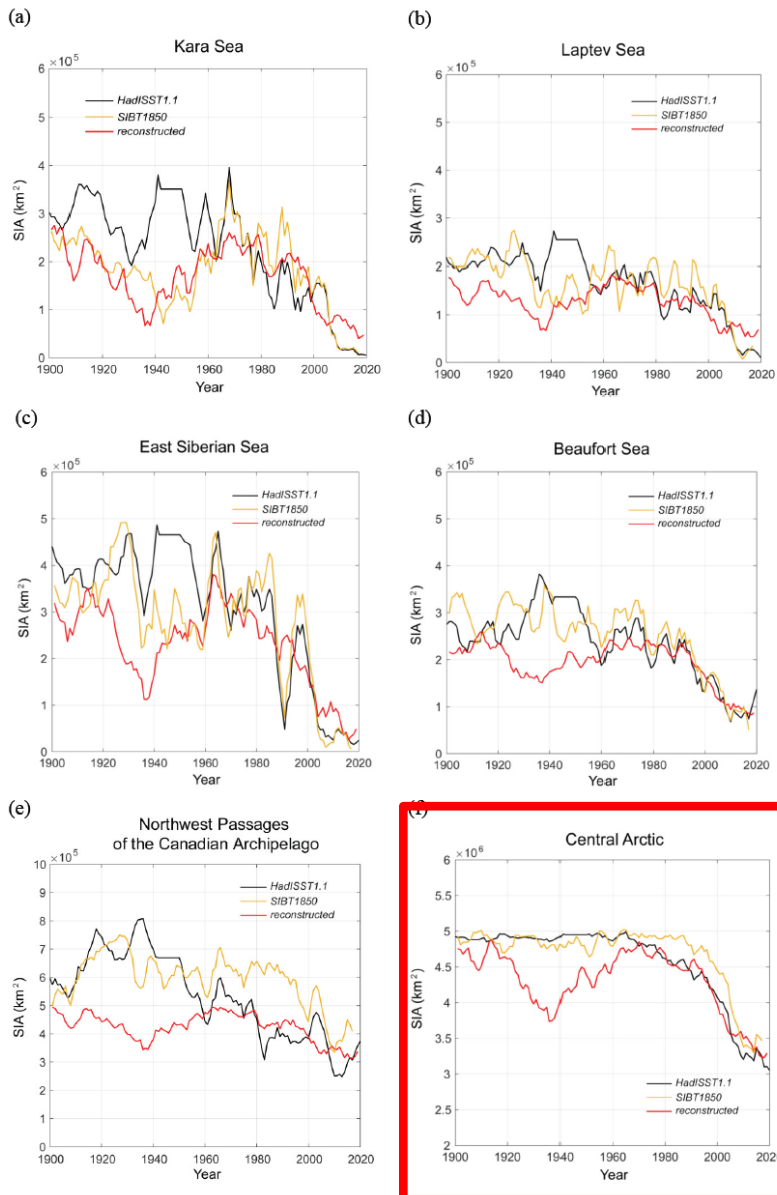


Fig. 6. September SIA (units: km^2) according to HadISST1.1, SIBT1850, and IAPICE1 data in the (a) Kara Sea, (b) Laptev Sea, (c) East Siberian Sea, (d) Beaufort Sea, (e) northwest passages of the Canadian Archipelago, and (f) central Arctic. Data are smoothed with 5-yr running means.

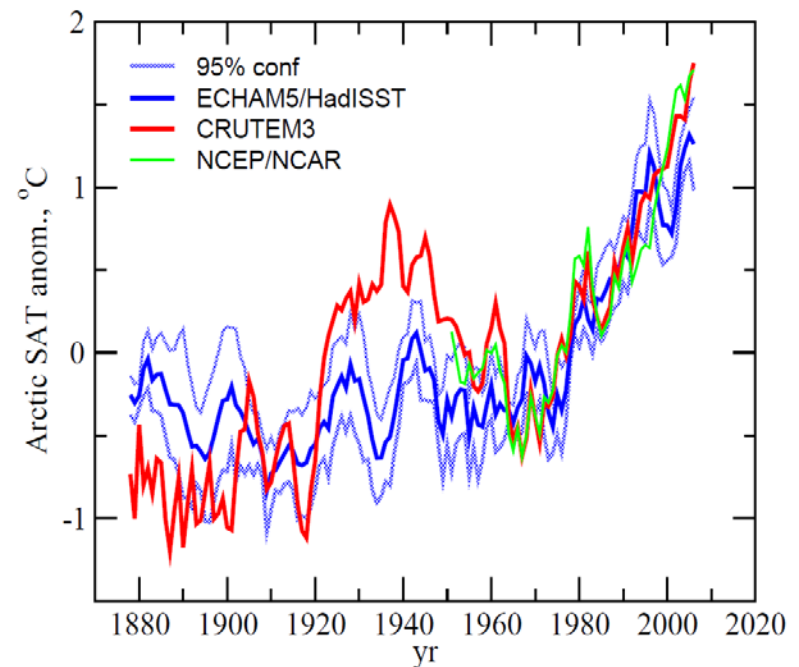
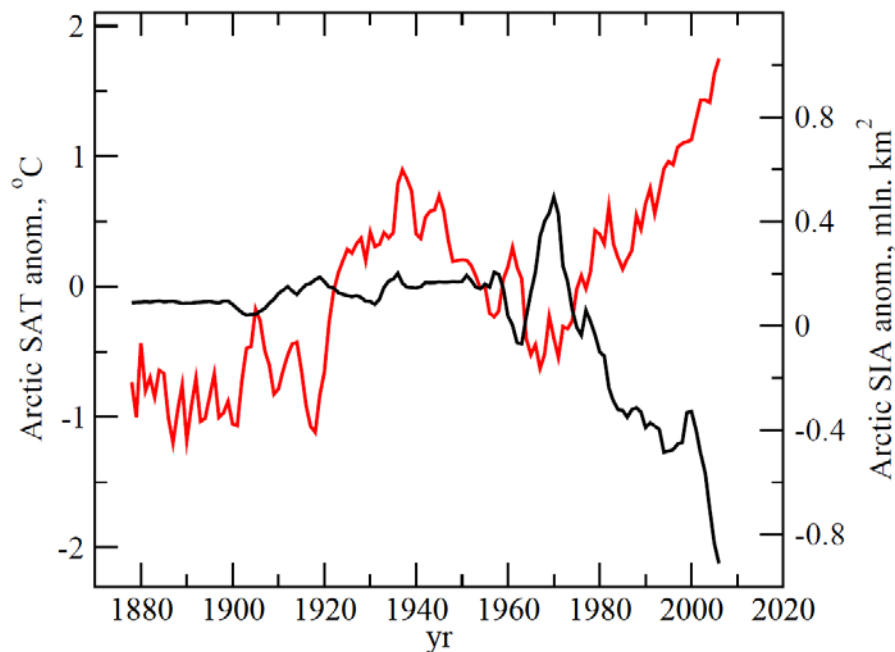
Data availability. The IAPICE1 dataset is available at <http://www.ifaran.ru/DATA/IAPICE1/>, <https://doi.org/10.11582/2024.00112>, and <https://doi.org/10.57760/sciencedb.iap.00005>.

Can we reproduce ETCW in climate models with HadISST1 data used as boundary conditions?

Sea ice and temperature: atmosphere GCM as a diagnostics tool

Arctic sea ice anomalies and high latitude temperature data in the first half of the 20th century do not match

AGCM simulations provide estimates of temperature response to sea ice anomalies and help to verify reliability of the sea ice datasets



Semenov and Latif, 2012; Semenov, 2016

Data availability. The IAPICE1 dataset is available at <http://www.ifaran.ru/DATA/IAPICE1/>, <https://doi.org/10.11582/2024.00112>, and <https://doi.org/10.57760/sciencedb.iap.00005>.

Спасибо за внимание!

Актуальные вопросы, связанные с изменением площади арктических морских льдов

Что будет с арктическими морскими льдами в будущем?

Что мы знаем об изменениях морских льдов в Арктике в XX веке?

Насколько надежны используемые данные по сплоченности льдов?

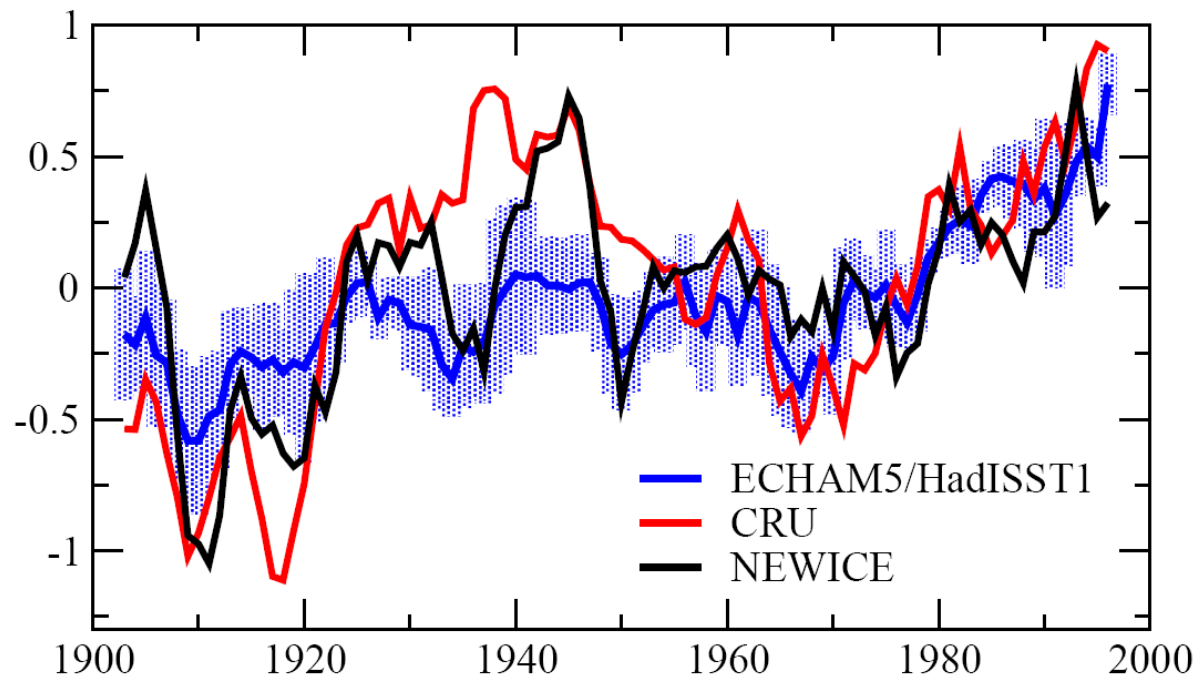
Наблюдались ли циклические долгопериодные колебания площади льда?

Насколько хорошо модели климата воспроизводят исторические изменения площади льда?

Есть ли в динамике морских льдов пороги неустойчивости?

Можем ли мы реконструировать поля сплоченности в период отсутствия данных наблюдений?

Sea ice reconstruction based on AARI data



$$\begin{aligned} \text{Ice}(t_i) = & \\ & (\text{STDDEV}_{1960-98}(\text{Ice}) / \text{STDDEV}_{1960-98}(T)) * (T(t_i) - \text{MEAN}_{1960-98}(T)) \\ & + \text{MEAN}_{1960-98}(\text{Ice}) \end{aligned} \quad (2.1),$$

где $T(t_i)$ – среднемесячные аномалии температуры по данным ААНИИ.

Semenov, 2010, Dr.Sci. Thesis

Arctic Sea Ice in the First Half of the 20th Century: Temperature-Based Spatiotemporal Reconstruction

V. A. Semenov^{a, b, *} and T. A. Matveeva^b

^a*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia*

^b*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia*

**e-mail: vasemenov@ifaran.ru*

Received May 7, 2020; revised May 14, 2020; accepted June 3, 2020

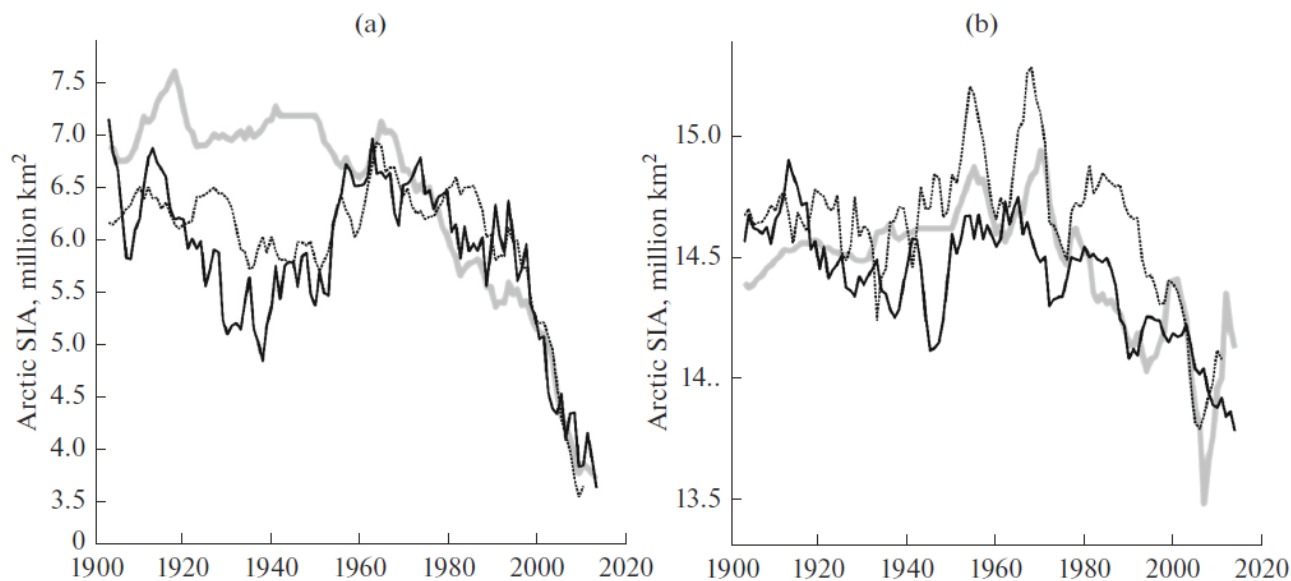
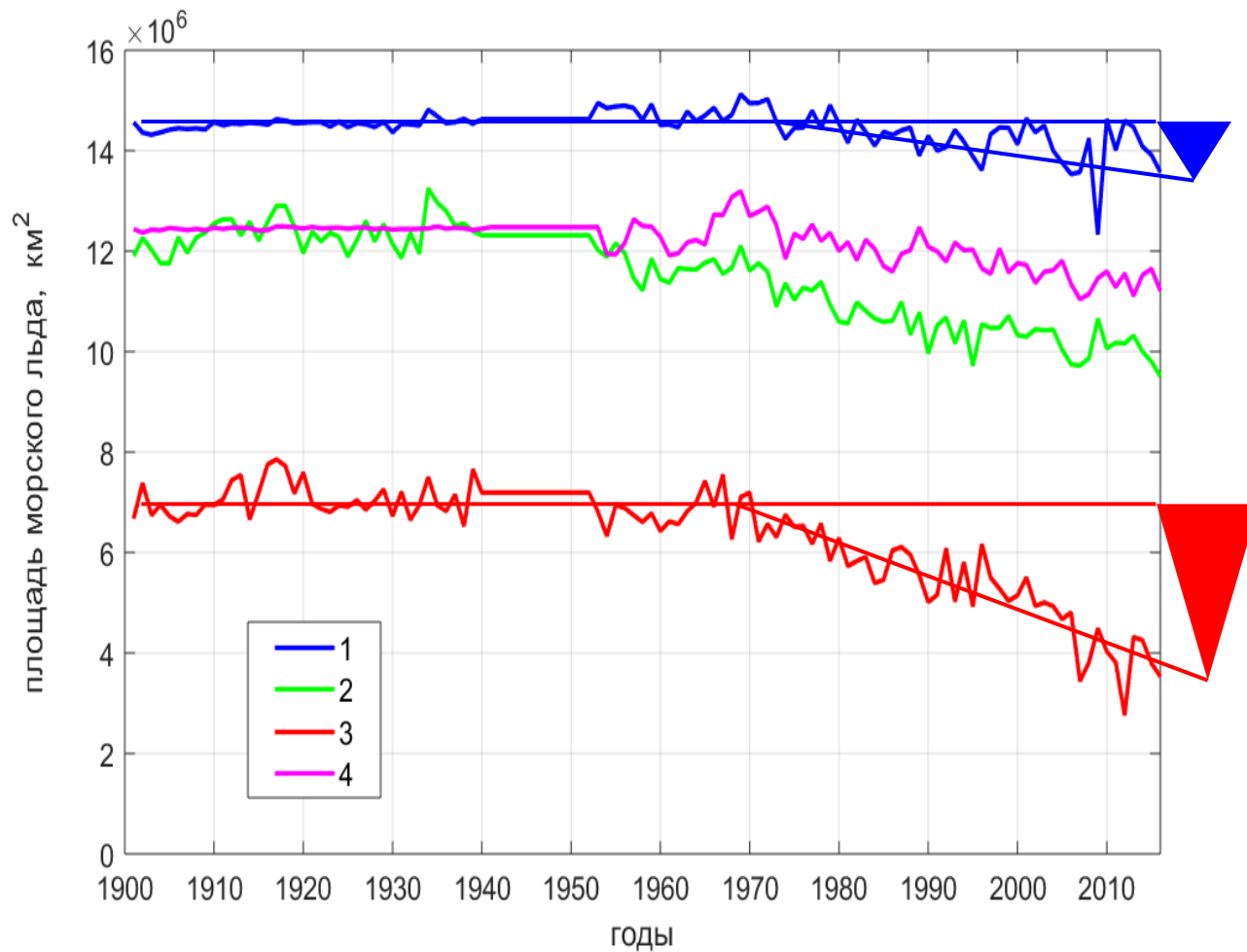


Fig. 1. SIA (mln km²) (smoothed with a 5-year running mean) for (a) September and (b) March from HadISST 1.1 (thick grey line), SIBT1850 (Walsh) (black dotted line), and reconstruction based on linear regression of SIC onto SAT (black line).

Semenov, Matveeva, 2020

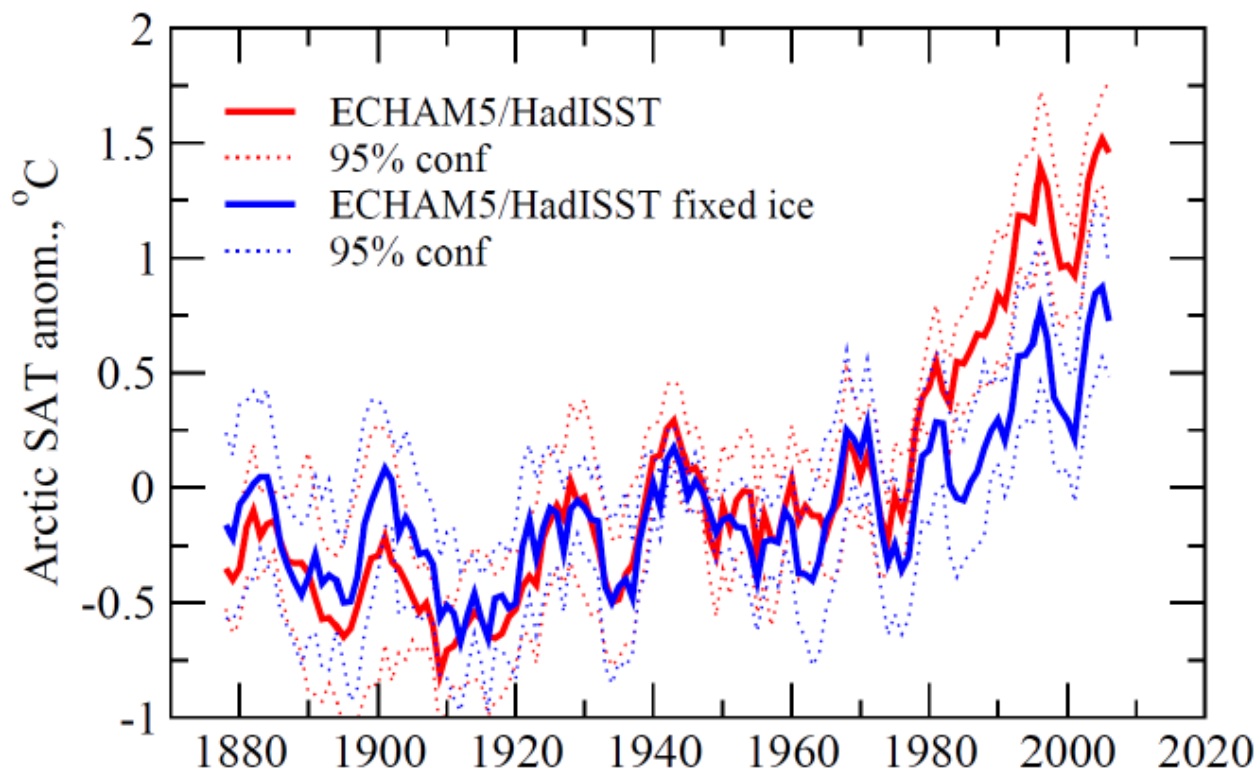
Changes of the Arctic sea ice extent: seasonality

Northern Hemisphere sea ice area, mln.km² data of Hadley Centre (HadISST1)
in **March**, **June**, **September** and **December**



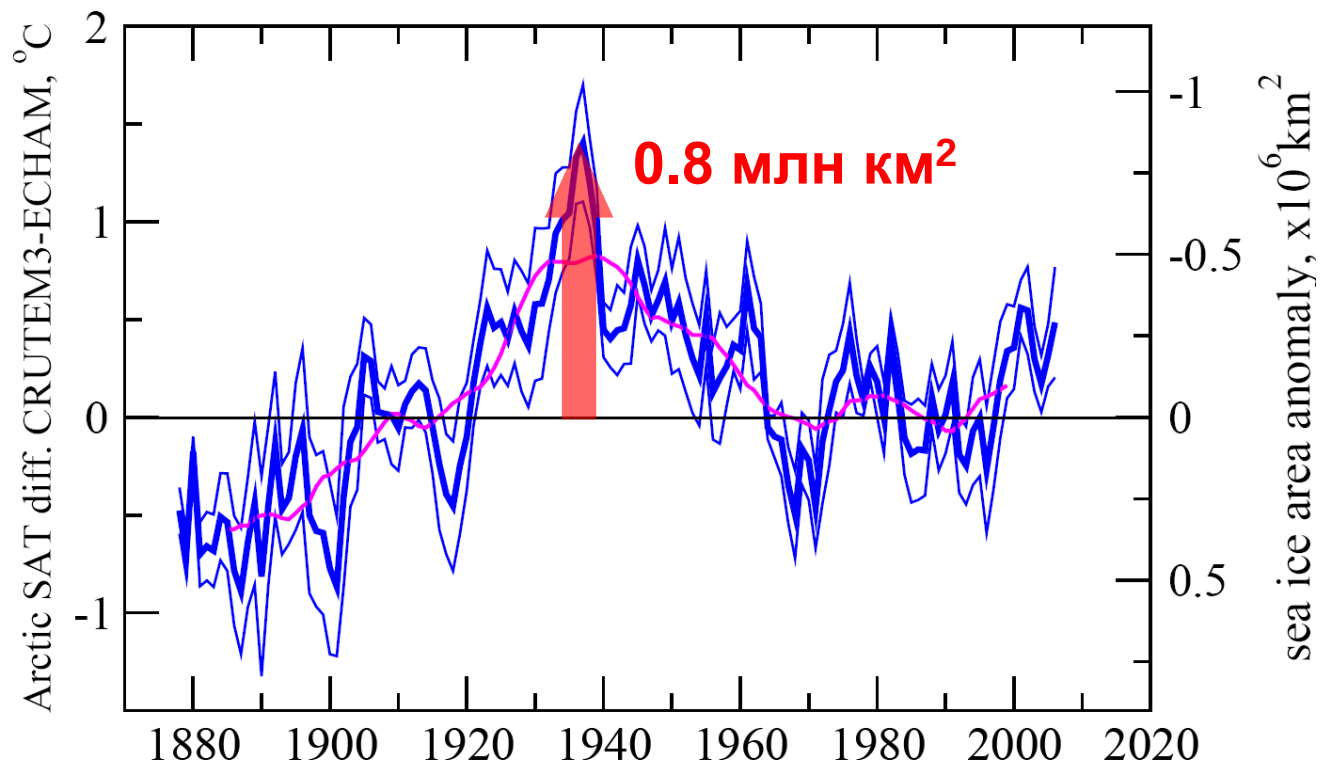
Использование модели общей циркуляции атмосферы для исследования влияния морских льдов на климат и валидации данных

Изменения зимней т-ры в Арктике в эксперименте с данными по концентрации морских льдов (КМЛ) HadISST1 и в эксперименте с замороженными данными по КМЛ



Сравнение этих экспериментов позволяет оценить чувствительность т-ры к изменениям площади льда (и наоборот)

Использование модели общей циркуляции атмосферы для исследования влияния морских льдов на климат и валидации данных



Разница приповерхностной температуры над сушей по данным наблюдений и результатам модельных экспериментов с использованием данных HadISST1 как граничных условий и оценка аномалии площади морских льдов в зимний период (ноя-апр)

Отрицательная аномалия площади морских льдов зимой в Арктике во время потепления середины XX века сравнима с современными изменениями

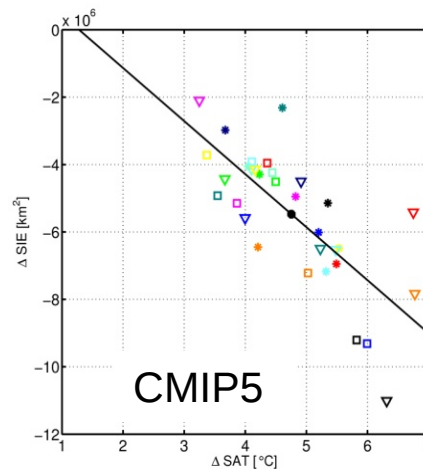
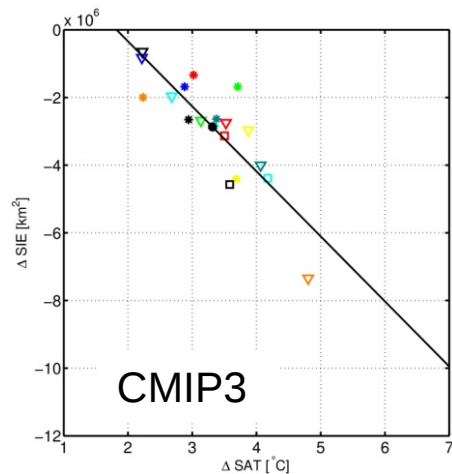
Sea ice area in climate models: problems and progress

New climate models' generations (CMIP5) better reproduces summer sea ice characteristics (area, variability), but does it worse in winter

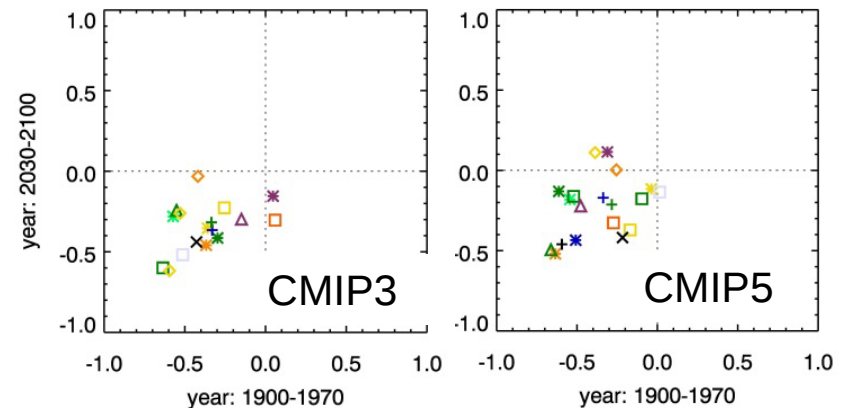
Regional biases are too large

Models are not that bad!

A link between sea ice area and NH temperature



A link (correlation) between sea ice area in the Barents Sea and Spitzbergen-Nordcap pressure difference (a measure of oceanic inflow strength)



Model uncertainties of the Arctic sea ice changes are related to the uncertainty in models' temperature sensitivity to GHG forcing

Models can reproduce regional sea ice dynamics