

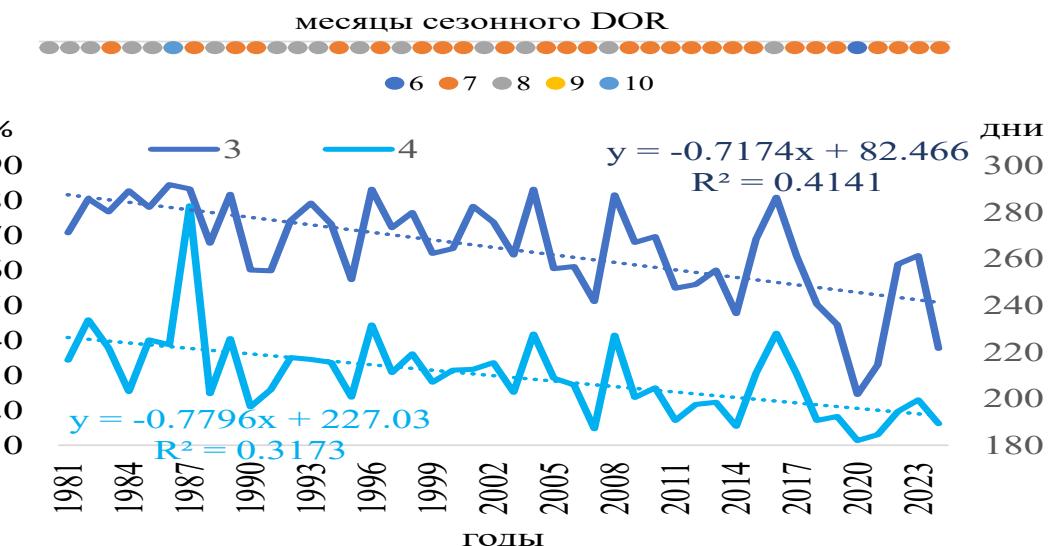
Возможности заблаговременного
прогноза сроков освобождения ото льда
моря Лаптевых на основе аномалий
атмосферной циркуляции в северной
части Тихого океана

Е.А. Черенкова

Институт географии РАН
Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН

Изменения климата в Арктике

- Рост приповерхностной температуры в Арктике в последние десятилетия происходит в три и более раза быстрее, чем в среднем по планете, и сопровождается стремительным сокращением площади морских льдов [Семенов и др., 2023].
- Обнаружено, что переход к открытой воде в конце прошлого столетия в море Лаптевых происходил как в июле, так и августе, а в начале текущего столетия стал происходить практически только в июле. При этом скорость смещения дат полного сезонного очищения от льда на более ранние сроки в море Лаптевых за последнее тридцатилетие составила 7 дней/10 лет.



Концентрация морского льда (КМЛ) (%) в июле (3) и даты (число дней с начала года) полного очищения от льда (DOR) (4) в период 1981-2024 гг. в море Лаптевых

Наблюдаемые изменения морского льда вызывают закономерные вопросы о влияющих факторах и о предсказуемости с различной заблаговременностью характеристик ледового покрова, в том числе, в период перехода к открытой воде.

Данные и методы

- Анализировались связи между временными рядами дат полного сезонного очищения ото льда (Date of Retreat, DOR) в среднем по акватории моря Лаптевых и индексами атмосферной циркуляции (CPC NOAA, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>), описывающими ведущие режимы изменчивости аномалий атмосферного давления в Северном полушарии. DOR были рассчитаны по суточным данным о сплоченности морского льда на сетке 25x25 км, полученным на основе измерений радиояркостной температуры микроволновыми радиометрами SMMR и SSM/I-SSMIS на спутниках Nimbus-7 и DMSP из архива Национального центра данных по снегу и льду (NSIDC) Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) [Meier, Stroeve, 2022].

Данные и методы

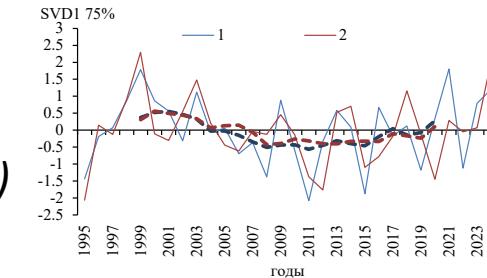
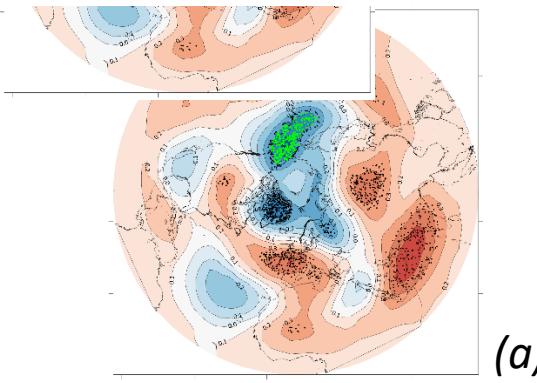
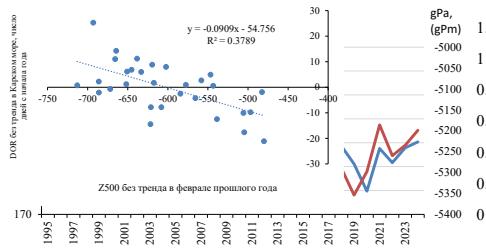
- Для выявления областей более тесно связанных межгодовых колебаний аномалий высоты геопотенциала на уровне 500 гПа (Z500) в феврале в период 1994-2023 гг. и DOR в море Лаптевых в 1995-2024 гг. был использован метод линейных сингулярных разложений ковариационных матриц (SVD, Singular Value Decomposition) [Черенкова, Семенов, 2017], позволивший проанализировать совместную изменчивость временных рядов обеих характеристик.

Связь между DOR в море Лаптевых и индексами атмосферной циркуляции в предшествующем году

Коэффициенты корреляции между DOR с удаленным трендом в море Лаптевых в период 1995-2024 гг. и индексами атмосферной циркуляции (по данным CPC) в предшествующем году в 1994-2023 гг. (по месяцам)

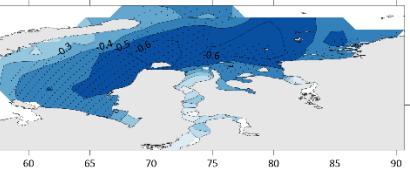
Месяцы предшествующего года												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
NAO												
0.03	0.36	0.38	-0.18	0.24	-0.14	-0.33	0.05	0.25	0.36	0.08	-0.03	
EA												
0.35	0.18	0.06	-0.24	0.35	-0.09	-0.26	-0.19	-0.15	-0.16	-0.19	0.13	
SCAND												
-0.35	-0.06	0.28	-0.3	-0.27	0.14	0.04	0.07	0	0.04	0.05	-0.35	
EA/WR												
-0.18	-0.14	-0.02	0.22	-0.02	0.31	0.15	-0.13	-0.16	-0.04	0.11	0.27	
Polar												
0.22	0	0.09	0.16	0.1	-0.05	-0.07	0.08	0.07	-0.17	-0.13	0.04	
PNA												
0.34	0.3	0.02	0.26	-0.05	-0.03	0.01	0.06	0.06	0.44	0.23	0.06	
WP												
-0.08	-0.46	-0.37	0.19	0.23	0.15	0.05	-0.18	-0.15	-0.06	0.2	0	

- Результаты анализа показали, что наиболее раннее влияние на межгодовую изменчивость DOR оказывают вариации центров действия барической системы West Pacific (Западно-Тихоокеанское колебание) в феврале прошлого года (коэффициент корреляции -0.46 между DOR и индексом WP).



(б)

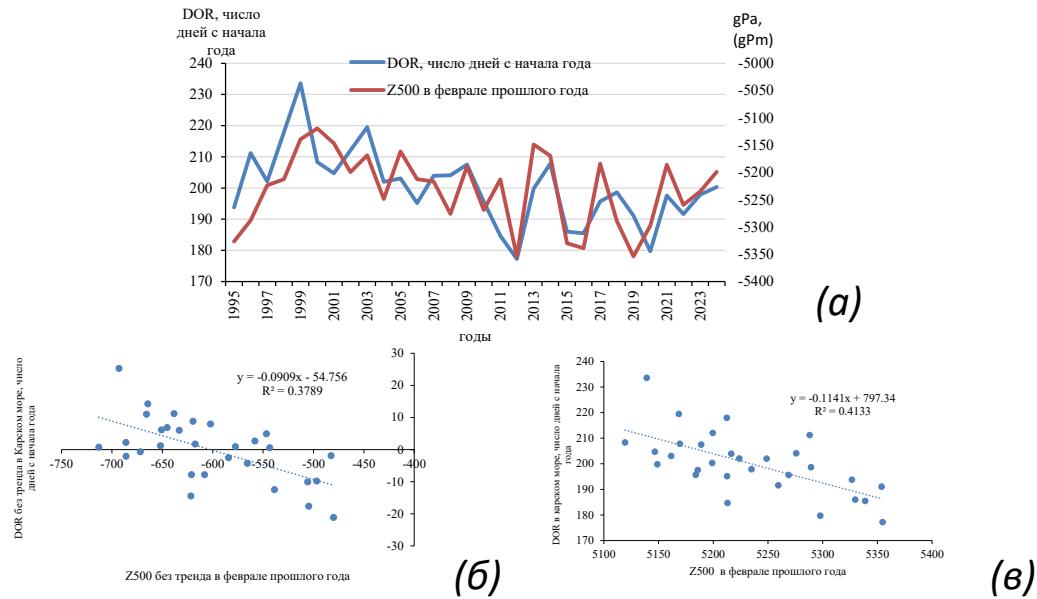
Пространственные структуры первых ведущих мод SVD-анализа совместной изменчивости временных рядов с удаленными трендами: Z500 в СП в феврале в период 1994-2023 гг. (а) и DOR в Карском море в следующем году в период 1995-2024 гг. (б) с узлами со значимыми ковариациями между DOR и Z500 на уровне 0.05, обозначенными точками черного цвета. Временные ряды ГК 1SVD (в): 1SVD DOR в Карском море (1), 1SVD Z500 (2).



Пространственные структуры первых ведущих мод SVD-анализа совместной изменчивости временных рядов с удаленными трендами: Z500 в СП в феврале в период 1994-2023 гг. (а) и DOR в Карском море в следующем году в период 1995-2024 гг. (б) с узлами со значимыми ковариациями между DOR и Z500 на уровне 0.05, обозначенными точками черного цвета. Временные ряды ГК 1SVD (в): 1SVD DOR в Карском море (1), 1SVD Z500 (2).

- Установлено, что первая ведущая мода SVD-анализа объясняет 83% общей изменчивости Z500 в феврале в 1994-2023 гг. и DOR в Карском море в 1995-2024 гг. Пространственная структура 1SVD Z500 в феврале характеризуется меридионально ориентированным диполем с сильными центрами противоположных аномалий Z500 в регионах, расположенных над полуостровом Камчатка и в районе Южной Японии, Восточного Китая и над западной частью Тихого океана, присущими атмосферному колебанию West Pacific (WP), которое описывает ведущий режим телесвязи в Северном Тихом океане. Связь главной временной компоненты 1SVD Z500 с индексом WP в феврале подтверждается коэффициентом корреляции между временными рядами этих характеристик, равным 0.5.

Результаты анализа совместной изменчивости DOR и КМЛ



Многолетняя изменчивость DOR в Карском море и Z500 в феврале показана на рисунках (а). Связь между рядами с трендом (б) и без тренда (в) DOR в Карском море и Z500 в северном центре действия атмосферного колебания WP отражена на рисунках (б и в).

- Результаты анализа тесноты связи DOR в море Лаптевых и Z500 в феврале предыдущего года в каждом регионе их наиболее синхронных/асинхронных колебаний, выявленных с помощью SVD-анализа, показали, что наиболее сильным предиктором дат полного освобождения ото льда в море Лаптевых с заблаговременностью 17 месяцев являются аномалии высотного давления в южном центре WP в субтропических широтах северного Тихого океана в феврале прошлого года.
- Отрицательная корреляция (-0.69) между этими характеристиками означает, что после наблюдения аномально высокого (антициклон)/низкого (циклон) давления в феврале над субтропиками северного Тихого океана, в следующем году в море Лаптевых, как правило, отмечались более ранние/поздние даты полного сезонного освобождения от льда. Аномалии Z500 в южном центре атмосферного колебания WP в феврале объясняют половину общей изменчивости DOR в море Лаптевых, включая долгопериодный тренд.
- При этом возможны прогнозические (с заблаговременностью до полутора лет) оценки почти 40% межгодовых колебаний DOR в акватории моря Лаптевых на основе аномалий высотного давления в субтропиках северного Тихого океана, связанных с фазами атмосферного колебания West Pacific.

Выводы:

Таким образом, использование аномалий Z500 в центрах действия атмосферного паттерна West Pacific может служить надёжным инструментом для долгосрочного прогноза межгодовой изменчивости ледового покрова в море Лаптевых.