



Связь морского волнения с циклонической активностью во внетропических широтах Северного полушария по данным реанализа ERA5

Акперов М.Г.¹, Гиппиус Ф. Н.², Мохов И.И.^{1,2}

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Мотивация



Экстремальные скорости ветра над океаном вызывают сильное морское волнение, которое негативно воздействует на судоходство, прибрежную инфраструктуру и т.д.

Воздействие может зависеть от размера, интенсивности и продолжительности жизни циклона

Цель

Количественная оценка вклада циклонов в формирование морского волнения

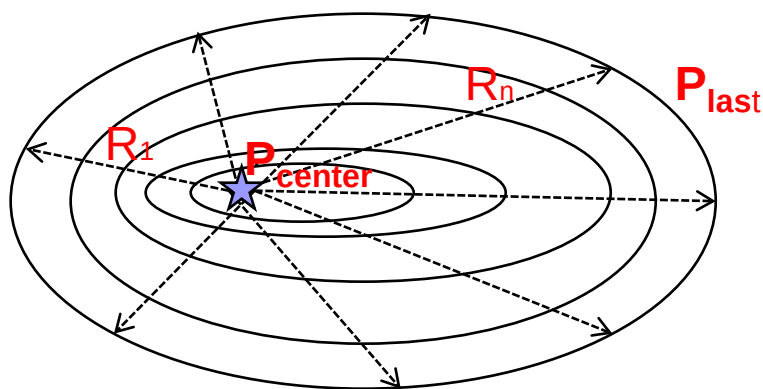
Используемые данные и методы

- 6-часовые поля атмосферного давления на уровне моря (**MSLP**), характеристики морских волн (**значительная высота волны** (средняя высота одной трети самых высоких волн)) по данными реанализа **ERA5 (0.5°)** для внетропических широт Северного полушария ($>20^\circ$).
- Анализируемый период—**1979-2021** и сезоны—**зима (Декабрь-Февраль)** и **лето (Июнь-Август)**.
- Метод идентификации и трекинга циклонов – (Бардин и Полонский, 2005).

Метод идентификации и трекинга циклонов

1. Идентификация циклонов:

- Циклон - это область низкого давления с замкнутыми изобарами.

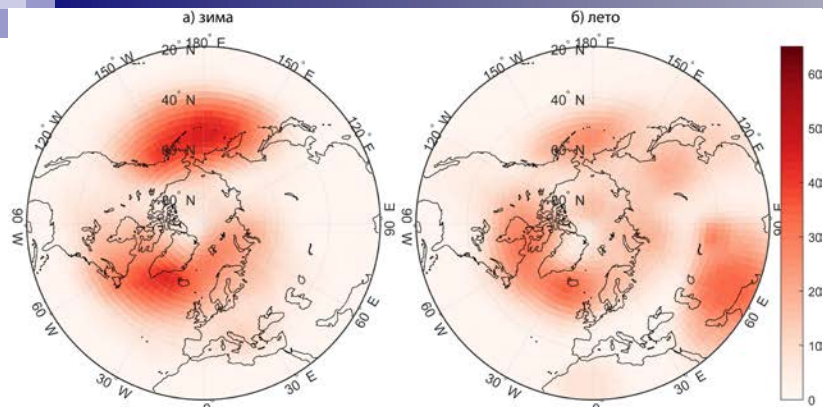


1. *Повторяемость – количество циклонов в сезон;*
 2. ΔP (глубина циклона) = $|P_{center} - P_{last}|$, где P_{center} – минимальное давление в циклоне, P_{last} – давление на последней замкнутой изобаре; [гПа]
 3. R (радиус циклона) = $1/n * \sum(R_i)$, где $i=1, n$; [км]
 4. Средняя по площади циклона значение значительной высоты волны, сгенерированные локальным ветром (SHWW); [м]
 5. Максимальное значение значительной высоты волны внутри циклона; [м]
 6. Относительный вклад – $\sum SHWW$ внутри ячейки, занимаемой циклоном / $\sum SHWW$ (общее поле)
- Мера интенсивности циклона $E_k \sim (\delta p)^2$ (напр., Голицын и др., 2007; Simmonds and Keay, 2009)

Глубокие (интенсивные) циклоны – 90% перцентиль распределения циклонов по глубине (интенсивности)

2. Трекинг циклонов (построение траекторий циклонов):

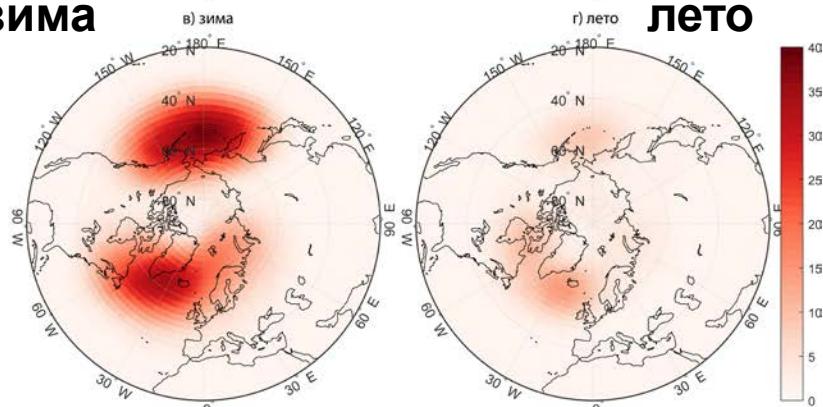
- метод ближайшего соседа (максимальное расстояние, которое проходит циклон не должно превышать 600 км за 6 часов);



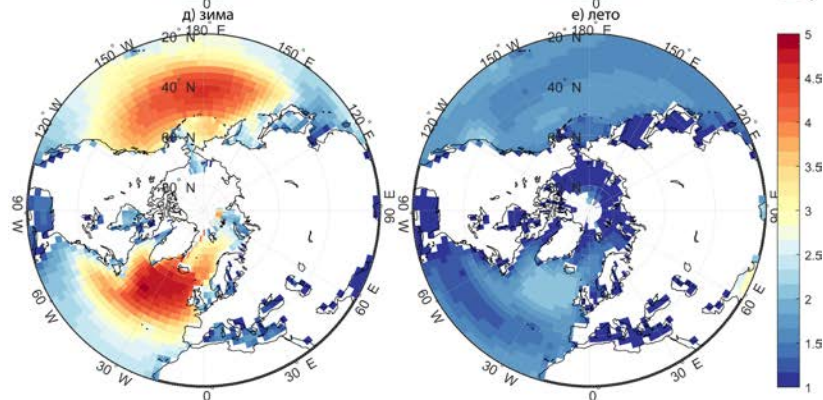
Наибольшая повторяемость циклонов зимой и летом проявляется над морями Ирмингера и Лабрадор в Атлантическом океане и над Беринговым морем в Тихом океане

зима

лето



Максимум повторяемости значительных высот волн в зимний и летний сезоны также проявляется над регионами повышенной повторяемости циклонов

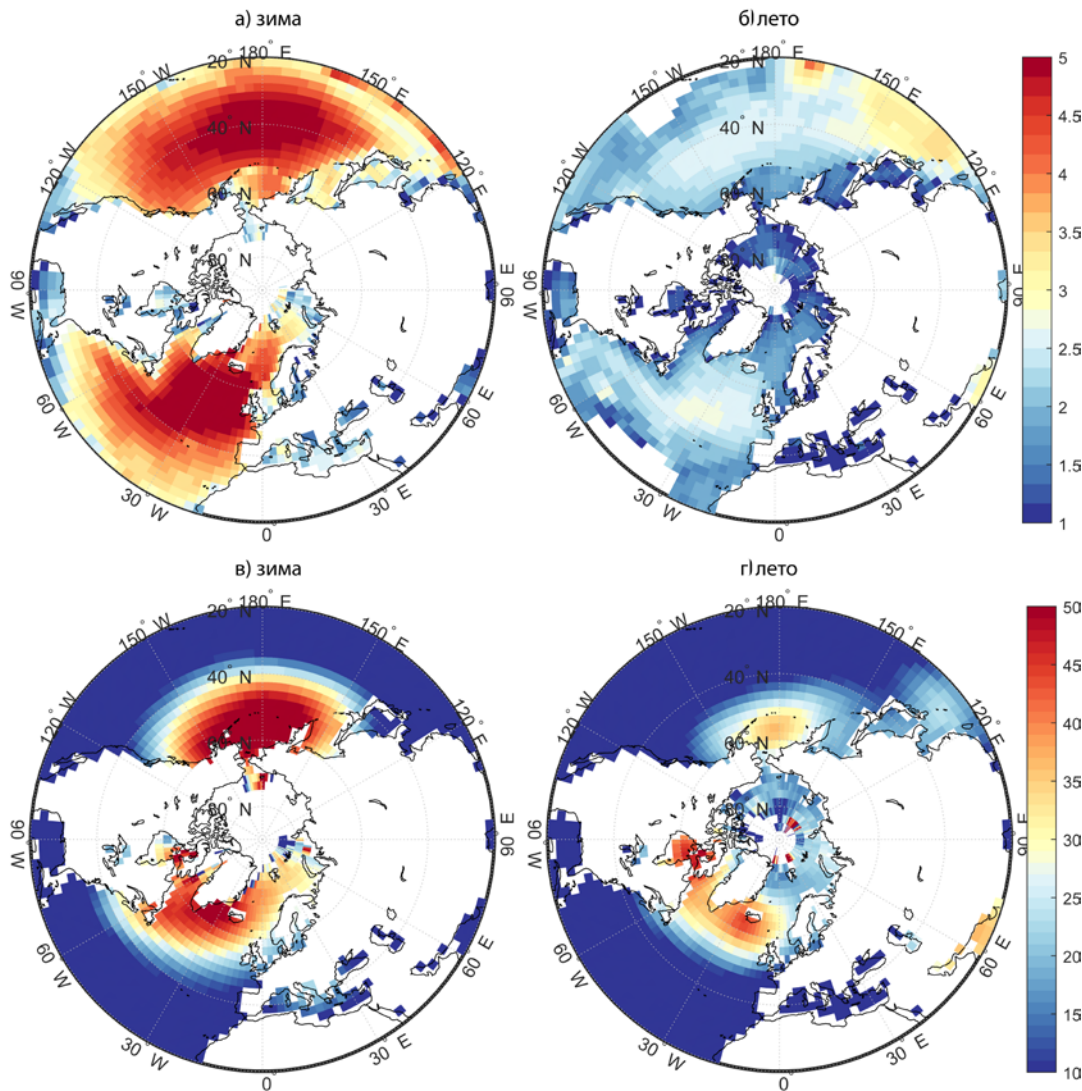


В этих регионах в среднем высоты морских волн в Тихом океане могут достигать 5 м зимой и 2 м летом

Пространственные распределения средних значений повторяемости всех циклонов (а, б), интенсивных циклонов [циклоно-дни/сезон] (в, г) и средняя высота значительных волн [м] (д, е) в Северном полушарии для зимнего (а, в, д) и летнего (б, г, е) сезонов по данным реанализа ERA5 для периода 1979-2021 гг.

зима

лето

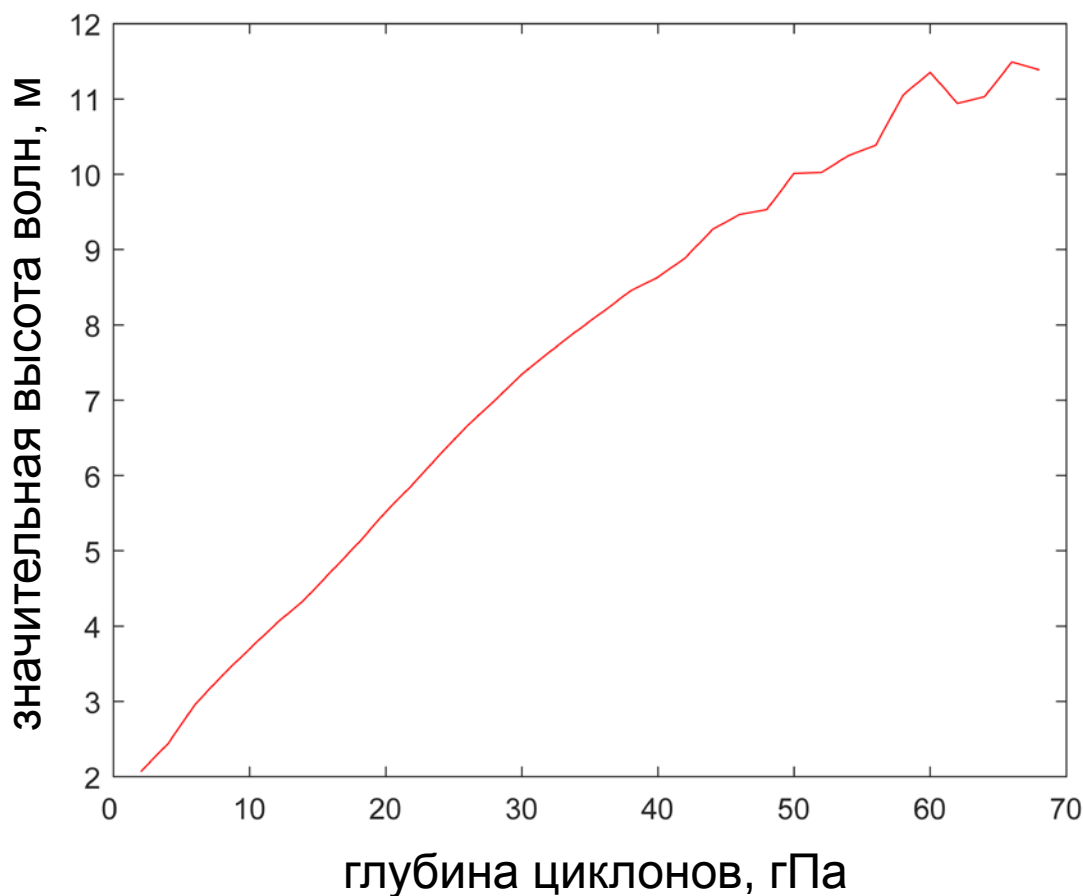


Наибольшие значения высот морских волн отмечаются в областях с повышенной циклонической активностью над океанами, в том числе в северной Атлантике приблизительно между 40 и 60° с. ш. и в Тихом океане приблизительно между 30 и 50° с. ш.

средняя значительная высота волн, связанная с внетропическими циклонами, достигает 6 м зимой и 3 м летом

внетропические циклоны вносят вклад более 30% в формирование значительных высот волн. При этом для регионов с высокой повторяемостью циклонов этот вклад достигает 70% зимой и 50% летом.

Пространственные распределения средних значений связанных с циклонической активностью высот значительных волн [м] (а, б) и относительного вклада атмосферных циклонов [%] в высоту значительных волн (в, г) в Северном полушарии зимой и летом по данным ERA5 для периода 1979-2021 гг.



С наиболее мощными атмосферными циклонами связаны более высокие морские волны

Зависимость между интенсивностью внетропических циклонов и средними высотами значительных волн, соответствующий данной интенсивности циклона по данным реанализа ERA5 в целом за 1979-2021 гг.

Using the Pierson–Moskovitz (Pierson and Moskowitz, 1964) expression for the SWH and u :

$$SWH = 0.21 \frac{u^2}{g}, \quad (1)$$

where u – near-surface wind speed, g – gravity.

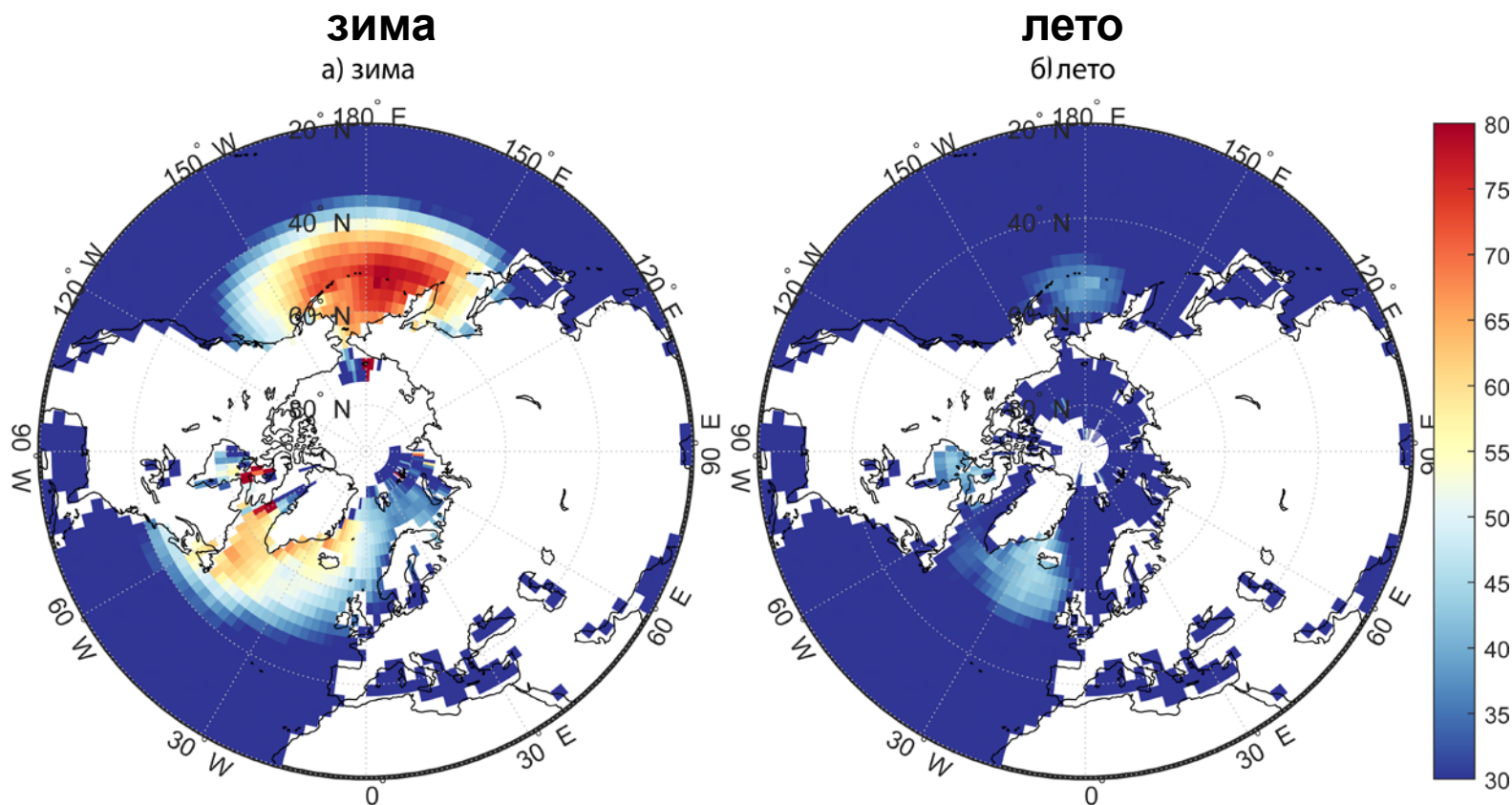
The geostrophic wind speed (V_g) is given by:

$$V_g = \frac{1}{f\rho} \frac{\delta p}{R}, \quad (2)$$

where f is the Coriolis parameter, ρ – air density, δp – cyclone depth and R –cyclone radius.

Substituting (2) into (1) under the assumption that $u \sim V_g$, we obtain an expression linking significant wave height to cyclone depth and other parameters:

$$SWH = \frac{0.21}{g\rho^2 f^2} \frac{\delta p^2}{R^2}, \quad (3)$$

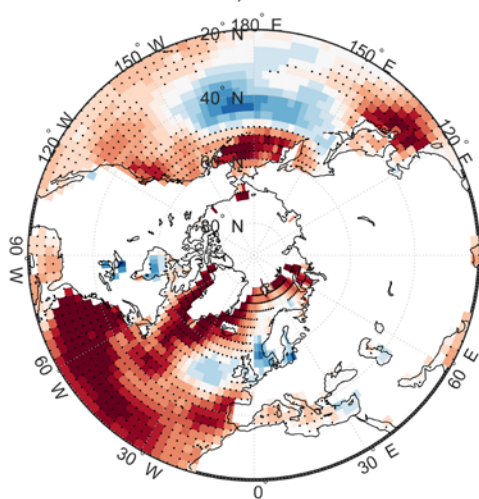


Пространственные распределения средних значений относительного вклада [%] интенсивных циклонов (>90 перцентиль) в экстремальные высоты значительных волн (90-ый перцентиль) в Северном полушарии зимой (а) и летом (б) по данным реанализа ERA5 для периода 1979-2021 гг.

Интенсивные циклоны ответственны за формирование 90% экстремальных значений значительных высот волн, для летних сезонов получена существенно меньшая (более, чем в раза) оценка, - около 40%

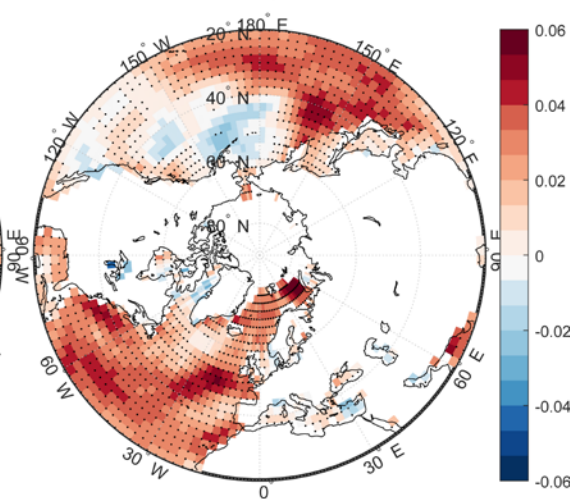
зима

а) зима

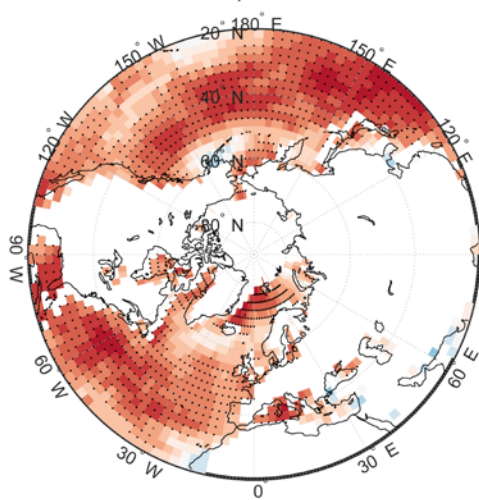


лето

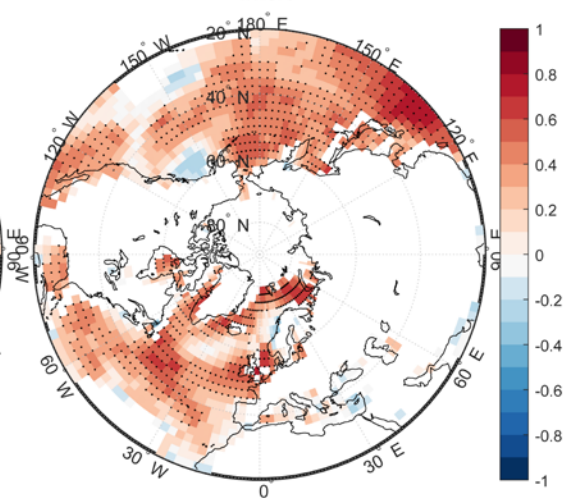
б) лето



в) зима



г) лето



высокая корреляция между повторяемостью циклонов и значительными высотами волн проявляется над обширными территориями во внетропических широтах Северного полушария.

Пространственные распределения оценок трендов повторяемости высот значительных волн [м / 10 лет] (а, б) и коэффициентов корреляции между повторяемостью циклонов и высотой значительных волн в атмосфере Северного полушария зимой (а, в) и летом (б, г) по данным реанализа ERA5 для периода 1979-2021 гг. Точками отмечены статистически значимые изменения (на уровне 95%).

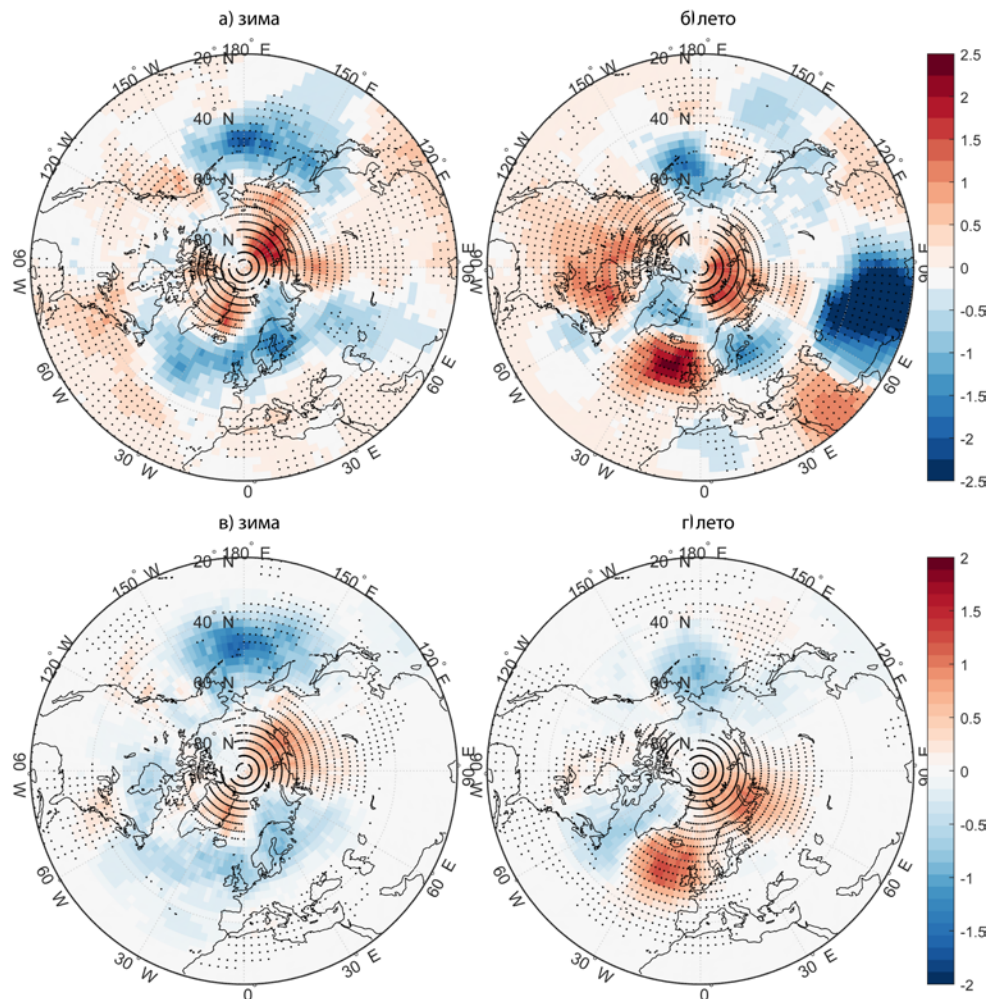


Заключение

- Получена количественная оценка вклада атмосферных циклонов в формирование значительной высоты морских волн. При этом величина вклада варьируется от 50% (летом) до 70% (зимой) для всех циклонов
- наиболее сильный вклад в формирование экстремальных значений значительных высот волн как раз связан с интенсивными циклонами – около 90% для зимних сезонов и около 40% для летних сезонов
- Наиболее высокие волны наблюдаются в более высоких широтах

зима

лето



наиболее значимые изменения циклонической активности отмечаются в высоких широтах Северного полушария, в частности, над Северной Атлантикой и над Северным Ледовитым океаном

Зимой проявляется статистически незначимое уменьшение повторяемости циклонов над Северной Атлантикой и атлантическим сектором Арктического бассейна, включая области Баренцева моря, и статистически значимое увеличение над Гренландским морем и в азиатском секторе Северного Ледовитого океана.

Летом повторяемость циклонов статистически значимо растет над Северной Атлантикой и над морями российского сектора Северного Ледовитого океана, в том числе для значительной части Северного морского пути

Пространственные распределения оценок трендов повторяемости всех циклонов [м / 10 лет] (а, б) и интенсивных циклонов (в, г) в атмосфере Северного полушария зимой (а, в) и летом (б, г) по данным реанализа ERA5 для периода 1979-2021 гг. Точками отмечены статистически значимые изменения (на уровне 95%).