



Роль температуры в изменчивости теплообмена поверхности Баренцева моря

Сумкина А.А.^{1,2*}, Кивва К.К.¹
sumkinaaleksa@yandex.ru

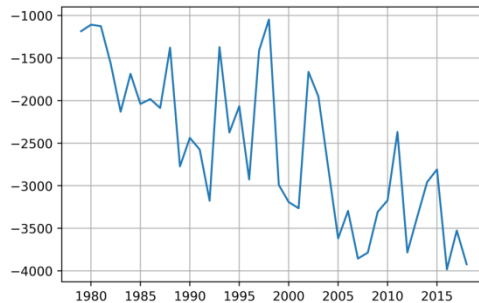
¹ ФГБНУ «ВНИРО»

² МГУ им. М.В.Ломоносова

г. Москва,
2023

Актуальность

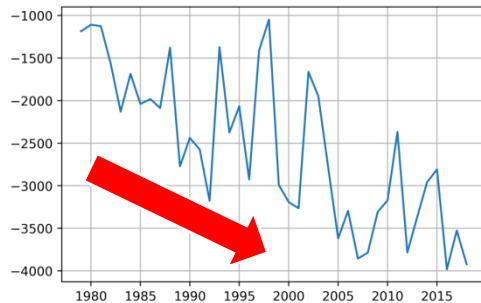
- ❑ Теплообмен определяет конвекцию зимой и формирование устойчивой структуры водной толщи летом
- ❑ Развитие фитопланктона весной определяется минеральным питанием, зависящим от глубины конвекции
- ❑ Ранее нами показано, что в Баренцевом море (БМ) наблюдается тренд суммарного теплового баланса за зимний период порядка -1000 (МДж/м²)/40 лет



$$\sum B = \sum R + \sum P + \sum LE$$

Актуальность

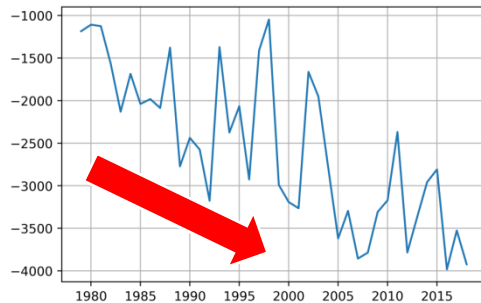
- ❑ Теплообмен определяет конвекцию зимой и формирование устойчивой структуры водной толщи летом
- ❑ Развитие фитопланктона весной определяется минеральным питанием, зависящим от глубины конвекции
- ❑ Ранее нами показано, что в Баренцевом море (БМ) наблюдается тренд суммарного теплового баланса за зимний период порядка -1000 (МДж/м²)/40 лет



$$\sum B = \sum R + \sum P + \sum LE$$

Актуальность

- ❑ Теплообмен определяет конвекцию зимой и формирование устойчивой структуры водной толщи летом
- ❑ Развитие фитопланктона весной определяется минеральным питанием, зависящим от глубины конвекции
- ❑ Ранее нами показано, что в Баренцевом море (БМ) наблюдается тренд суммарного теплового баланса за зимний период порядка -1000 (МДж/м²)/40 лет



$$\sum B = \sum R + \sum P + \sum LE$$

Цель и задачи

Цель – оценить изменчивость температур поверхности моря и атмосферы за зиму, влияющих на наблюдающееся в БМ увеличение суммарной за зимний период теплоотдачи на границе море-атмосфера

Задачи:

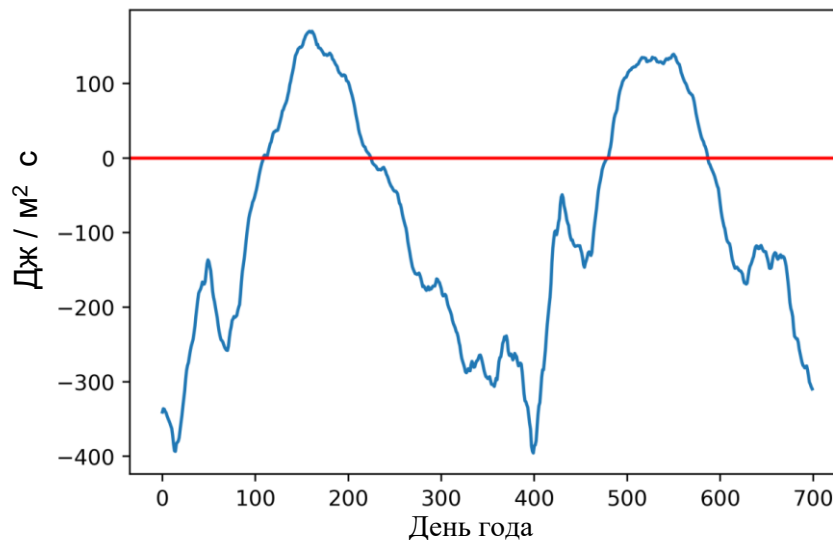
- Разработка и отладка программ для обработки данных спутниковых наблюдений атмосферного реанализа ERA-5 на языке программирования «Python»
- Расчет суммарного теплового баланса в зимний период, суммы потоков явного и скрытого тепла за зимний период
- Расчет средних температур поверхности моря и атмосферы в характерные зимние месяцы

Исходные Данные

- Потoki явного и скрытого тепла
 - Длинноволновая и коротковолновая радиация
 - Температура воздуха (2 м)
 - Температура поверхности моря
-
- ERA5
 - с 1979 по 2019 гг.
 - $0,25^\circ \times 0,25^\circ$

Методы

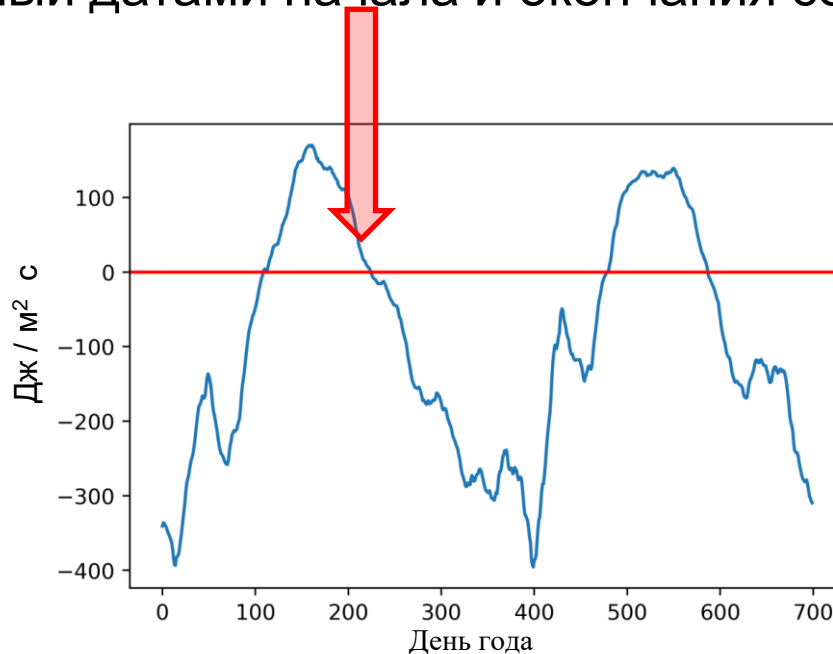
1. Расчет теплового баланса (ТБ), осреднили посуточно, сгладили 30-дневным скользящим средним
2. Расчёт даты начала и окончания охлаждения поверхности моря, сумма ТБ за зимний период ($ТБ_{зп}$)
3. Рассчитали сумму потоков явного и скрытого тепла за зимний период, ограниченный датами начала и окончания сезонного охлаждения



Тепловой баланс 1985 г. lon=40, lat=70

Методы

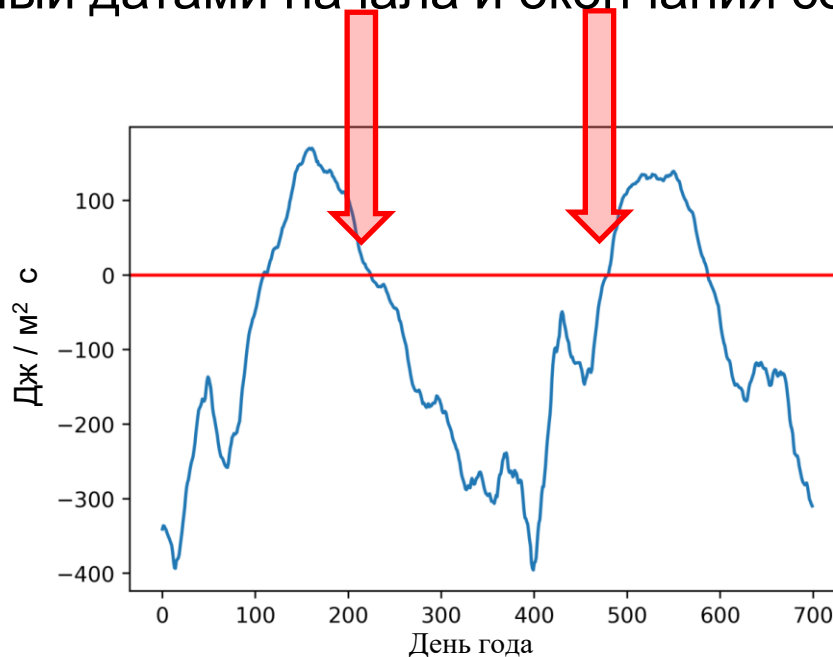
1. Расчет теплового баланса (ТБ), осреднили посуточно, сгладили 30-дневным скользящим средним
2. Расчёт даты начала и окончания охлаждения поверхности моря, сумма ТБ за зимний период ($ТБ_{зп}$)
3. Рассчитали сумму потоков явного и скрытого тепла за зимний период, ограниченный датами начала и окончания сезонного охлаждения



Тепловой баланс 1985 г. lon=40, lat=70

Методы

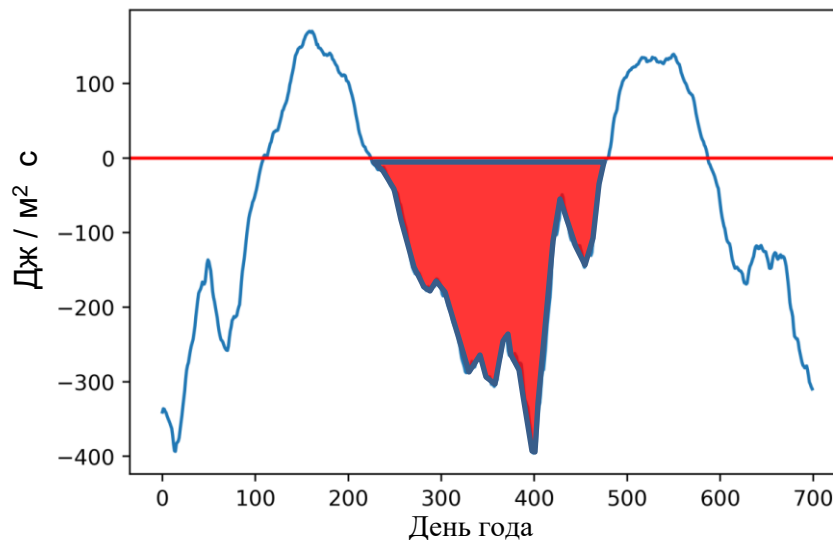
1. Расчет теплового баланса (ТБ), осреднили посуточно, сгладили 30-дневным скользящим средним
2. Расчёт даты начала и окончания охлаждения поверхности моря, сумма ТБ за зимний период ($ТБ_{зп}$)
3. Рассчитали сумму потоков явного и скрытого тепла за зимний период, ограниченный датами начала и окончания сезонного охлаждения



Тепловой баланс 1985 г. lon=40, lat=70

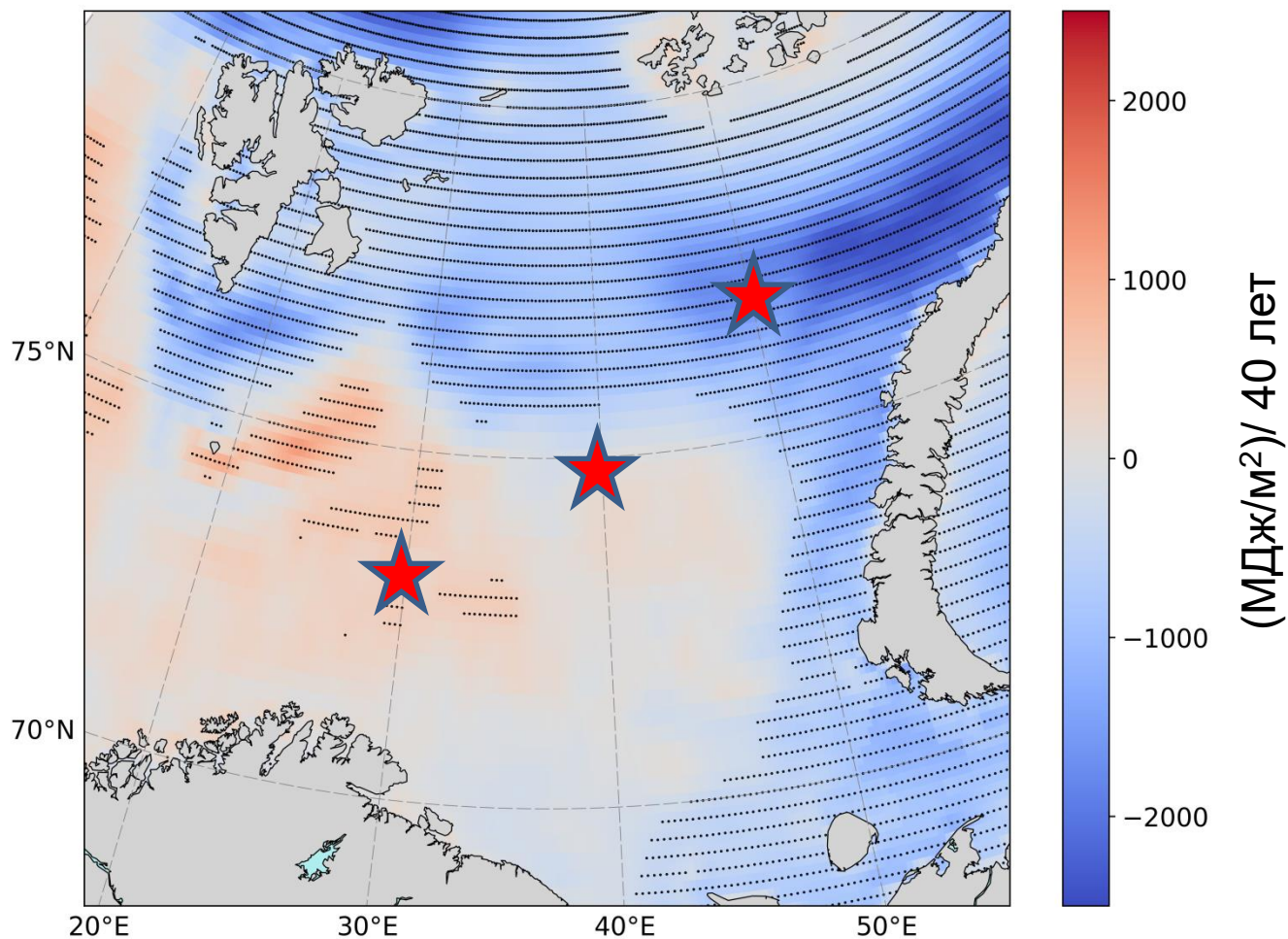
Методы

1. Расчет теплового баланса (ТБ), осреднили посуточно, сгладили 30-дневным скользящим средним
2. Расчёт даты начала и окончания охлаждения поверхности моря, сумма ТБ за зимний период ($ТБ_{зп}$)
3. Рассчитали сумму потоков явного и скрытого тепла за зимний период, ограниченный датами начала и окончания сезонного охлаждения



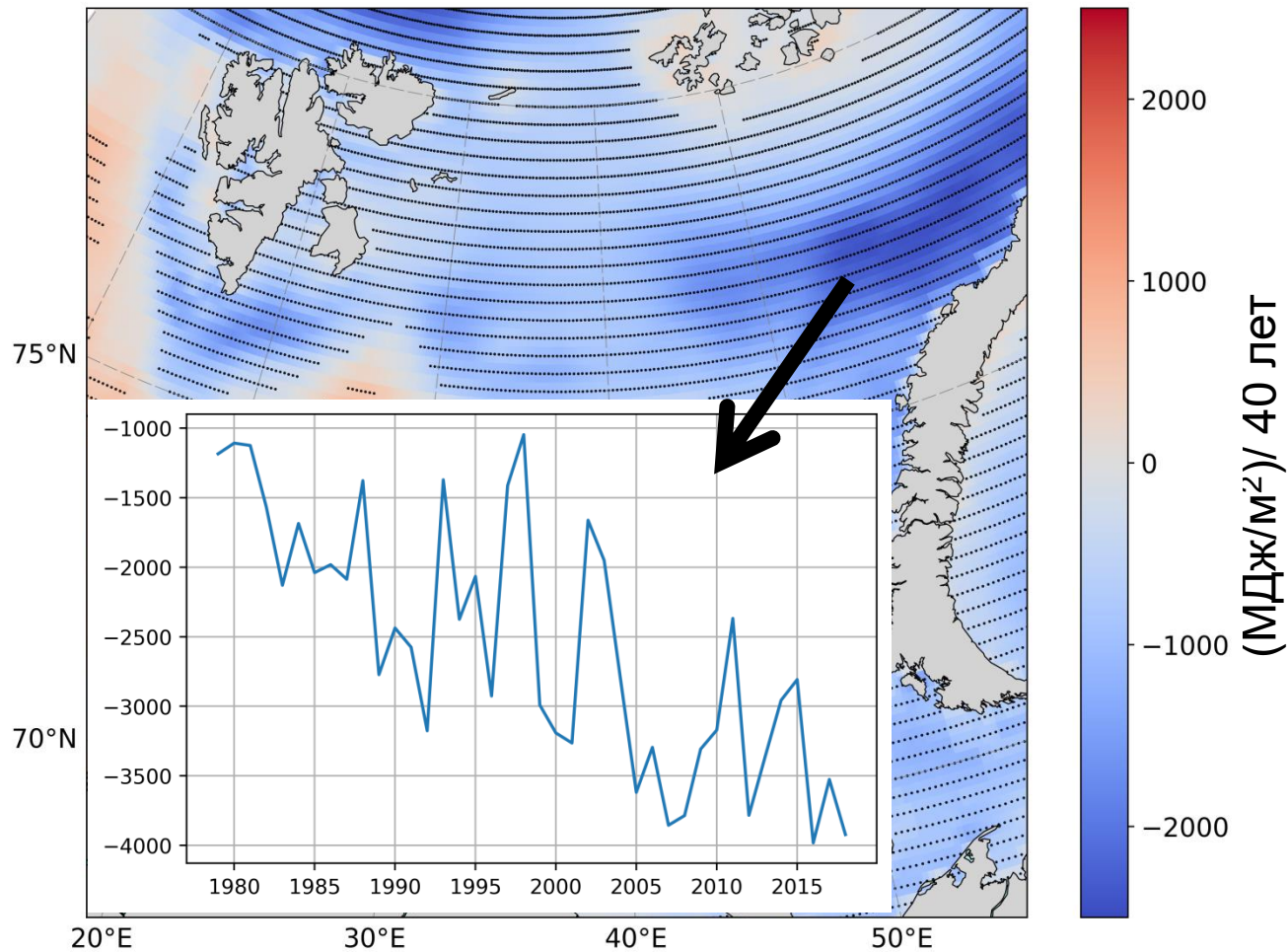
Тепловой баланс 1985 г. lon=40, lat=70

Суммарный ТБ за зимний период



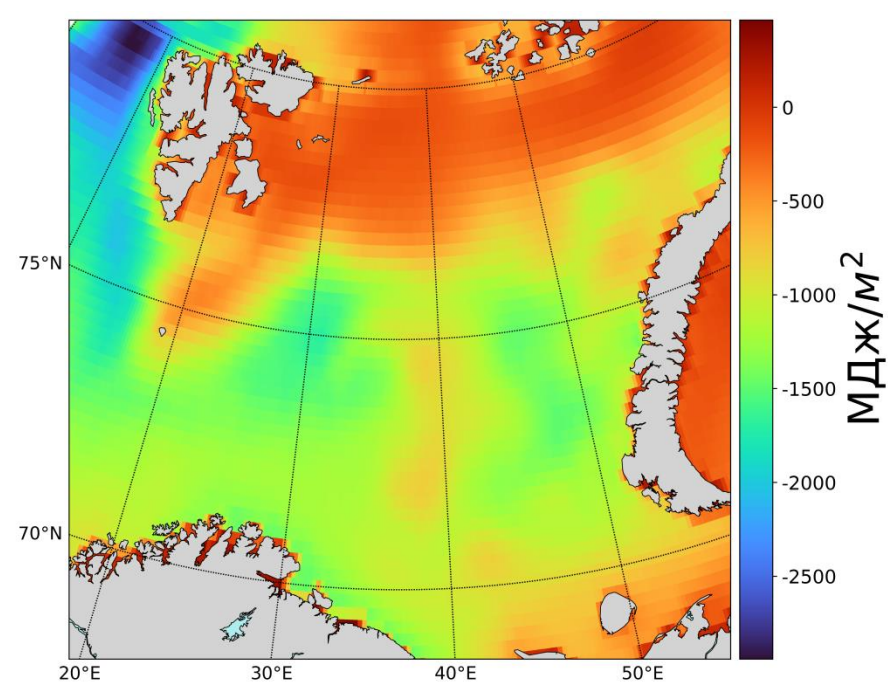
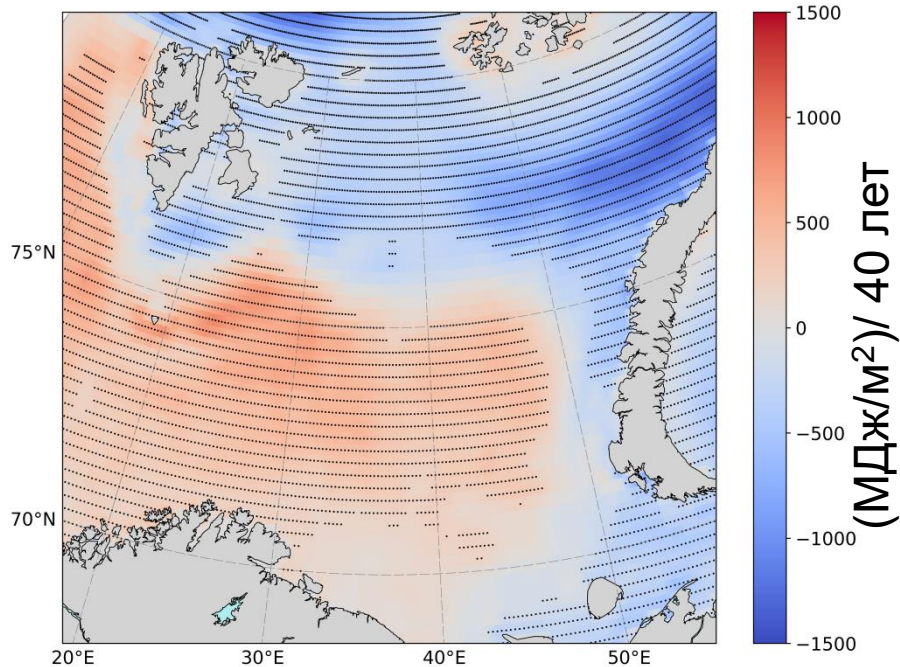
Линейный тренд ТБ_{3П}, точки – уровень значимости <math>< 0.05</math>

Суммарный ТБ за зимний период



Линейный тренд ТБ_{3П}, точки – уровень значимости <0.05

Суммарный явный поток тепла за зимний период



Поток явного тепла

$$\rho C_p C_H U (SST - T_a)$$

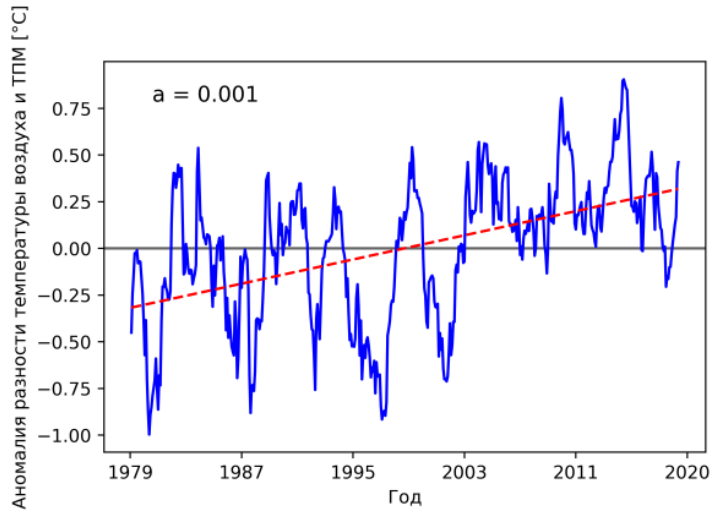
где C_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, ρ – плотность воздуха, C_H – интегральный коэффициент обмена явным теплом (число Стэнтона), SST – температура поверхности моря, T_a – температура воздуха, U – скорость ветра

Поток явного тепла

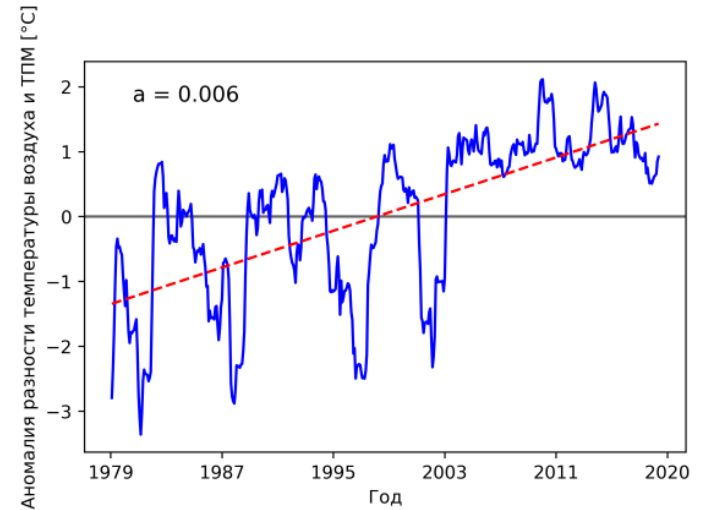
$$\rho C_p C_H U (SST - T_a)$$

где C_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, ρ – плотность воздуха, C_H – интегральный коэффициент обмена явным теплом (число Стэнтона), SST – температура поверхности моря, T_a – температура воздуха, U – скорость ветра

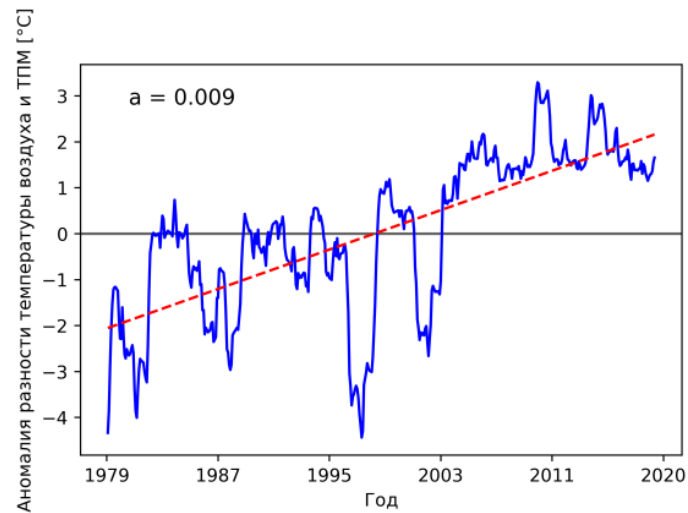
Аномалии разности между температурой воздуха на 2 м и температурой поверхности моря для контрольных точек 73° с.ш. 30° в.д. (А), 75° с.ш. 40° в.д. (Б) и 76° с.ш. 50° в.д. (В)



А



Б



В

Выводы

- Линейный тренд суммы потока явного тепла за зимний период с 1979 по 2019 гг. в северной и северо-восточной части моря отрицательный (до -1000 МДж/м^2 за 40 лет) и положительный в южной, юго-западной части моря ($500\text{--}800 \text{ МДж/м}^2$ за 40 лет)
- Наиболее значимое увеличение разности между температурой воздуха на 2 м и температурой поверхности моря наблюдается в северо-восточной части моря (на $0,009 \text{ }^\circ\text{C}$ за год), что позволяет обоснованно связать указанный тренд с аналогичным трендом ТБ
- При этом аномалия скорости ветра во всех трёх контрольных точках хоть и подвержена существенной межгодовой изменчивости, характеризуется близким к нулю коэффициентом линейного тренда
- Таким образом, можно сделать вывод, что тенденции теплоотдачи за счёт явного потока тепла связаны не с изменением скорости ветра, а с изменением разности температур воды и воздуха, и главным образом с ростом температуры воздуха