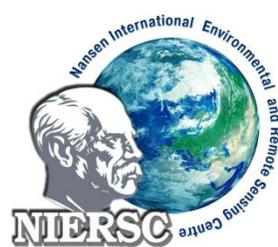




Санкт-Петербургский  
государственный  
университет



# ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОКЕАНИЧЕСКОГО ПОТОКА ТЕПЛА НА РАЗРЕЗЕ СВИНОЙ

Яковлева Д.А.<sup>1,2</sup>, Башмачников И.Л.<sup>1,2</sup>

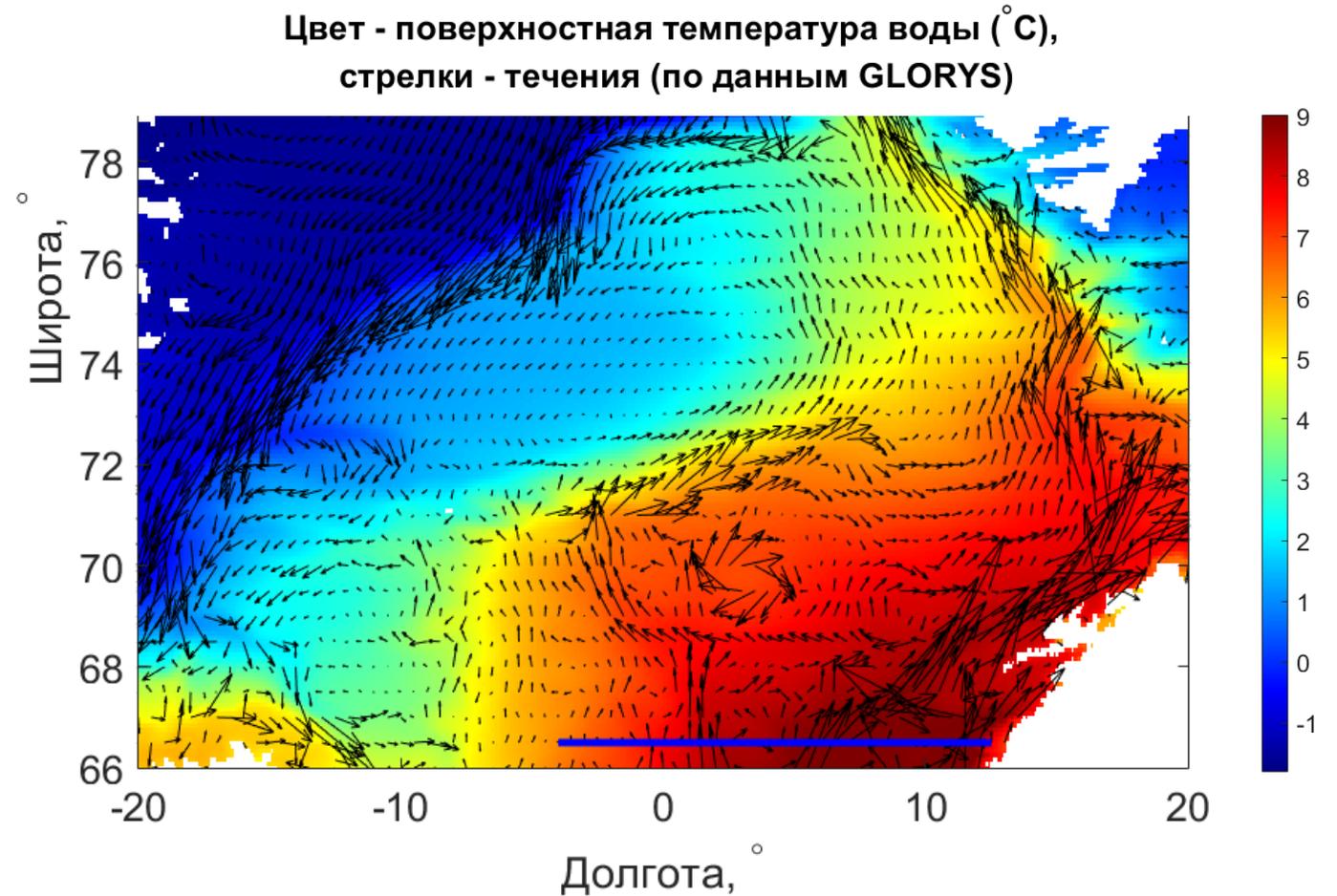
<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Научный фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена», г. Санкт-Петербург

**Цель:** выявить возможную причину изменчивости океанического потока тепла на разрезе Свиной (синяя линия на Рисунке).

В данной работе исследуется только поток Атлантических вод, которые приходят с Атлантической меридиональной океанической циркуляцией, в слое между поверхностью моря и изопикной потенциальной плотности  $27.8 \text{ кг/м}^3$  за период 1993-2019 гг.

$66.5^\circ$  с.ш.,  $4^\circ$  з.д. –  $12.5^\circ$  в.д.



## МАТЕРИАЛЫ

Температура и меридиональная скорость течения получены из базы данных GLORYS

(<http://marine.copernicus.eu/>)

- Пространственное разрешение –  $1/12 \times 1/12^\circ$
- Временное разрешение – месяц

Давление на уровне моря и скорость ветра – из реанализа ERA-5

(<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>)

- Пространственное разрешение –  $0.25 \times 0.25^\circ$
- Временное разрешение – месяц

## МЕТОДЫ

Интегрированный океанический поток тепла ( $OHF$ ):

$$OHF = \iint \rho_0 C_p (T - T_{ref}) V dz dx$$

Расход ( $WT$ ) через разрез в Св ( $1 \text{ Св} = 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$ ) :

$$WT = \iint V dz dx$$

Нагон ( $w_1$ , м/с) и относительная завихренность ( $w_2$ , м/с):

$$w_1 = \frac{\tau_l}{\rho_0 f L}$$

$$w_2 = -\frac{1}{\rho_0 f} \text{rot}(\tau)$$

где  $\rho_0$  – плотность морской воды ( $1027 \text{ кг}/\text{м}^3$ ),  $C_p$  – удельная теплоемкость морской воды ( $3900 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ),  $T$  – температура воды ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_{ref}$  – базовая температура морской воды ( $-1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $V$  – меридиональная составляющая скорости течения,  $dz$  – толщина слоя (м),  $dx$  – расстояние вдоль разреза (м),  $\tau_l$  – тангенциальное напряжение ветра вдоль берега ( $\text{кг}/\text{м} \cdot \text{с}^2$ ),  $f$  – параметр Кориолиса ( $\text{с}^{-1}$ ),  $L$  – расстояние от берега до точки (м),  $\tau$  – тангенциальное напряжение ветра.

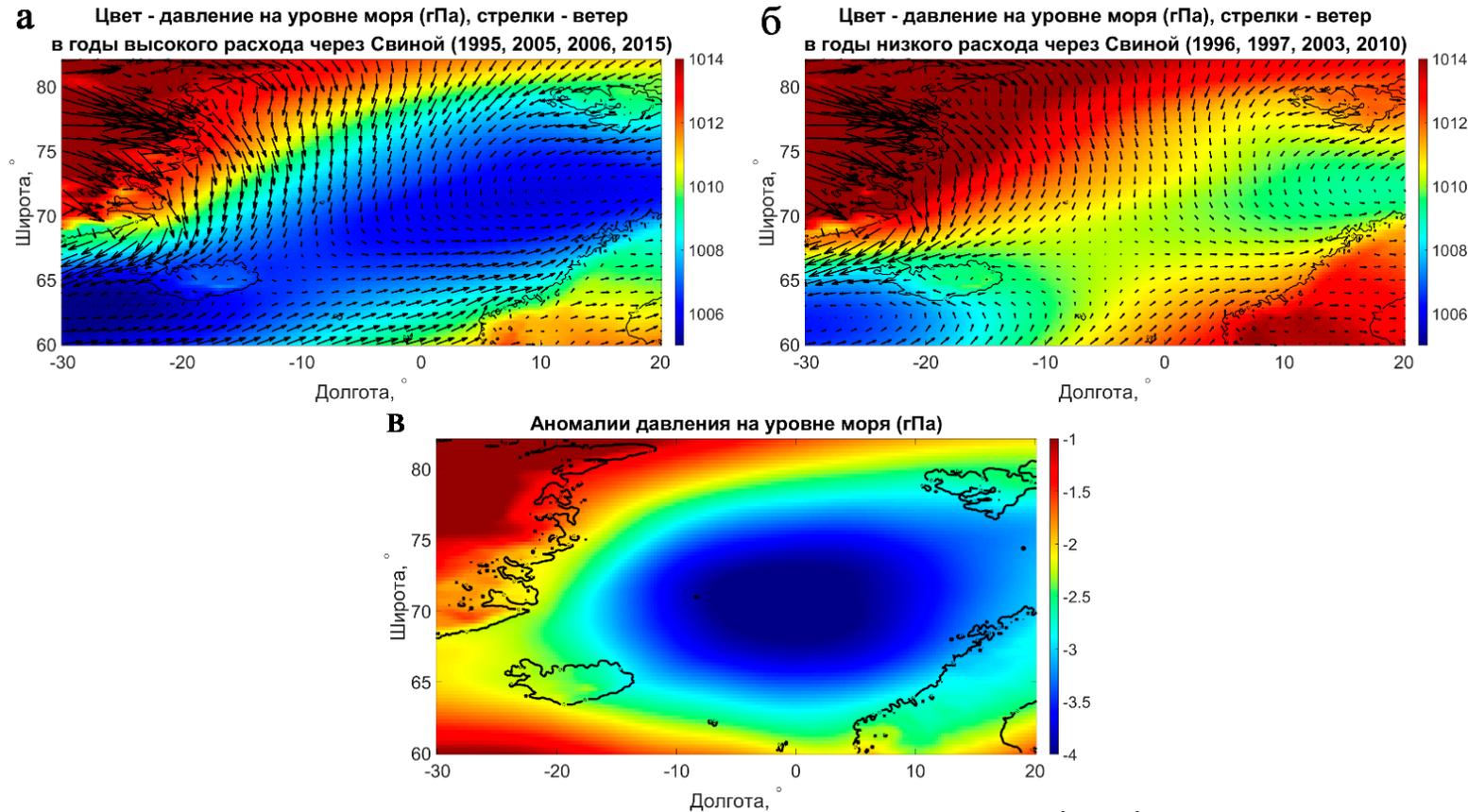
# РЕЗУЛЬТАТЫ



Рисунок. Межгодовая изменчивость нормированных значений расхода, океанического потока тепла и температуры воды через разрез Свиной по массиву данных GLORYS.

На разрезе Свиной период 1993-2019 гг. характеризуется повышением температуры воды, в среднем температура составляет  $7.3^{\circ}\text{C}$ . У океанического потока тепла не происходит такого же повышения как у температуры воды, что характеризуется низкой значимой корреляцией 0.39 между ними. Зато океанический поток тепла через разрез Свиной высоко и значимо взаимосвязан с расходом на данном разрезе (0.90). То есть, можно сделать вывод, что океанический поток тепла через разрез Свиной, который приходит с теплыми Атлантическими водами в Норвежское море, связан в первую очередь с расходом через разрез, а не с температурой воды. Средние значения расхода и океанического потока тепла за данный период составляют 6.8 Св и 242 ТВт.

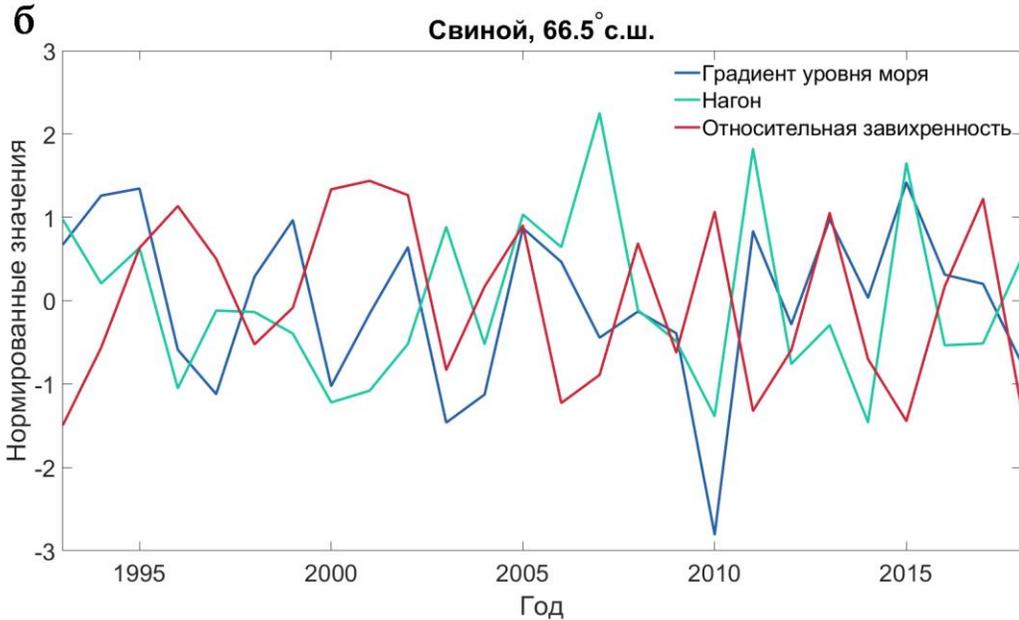
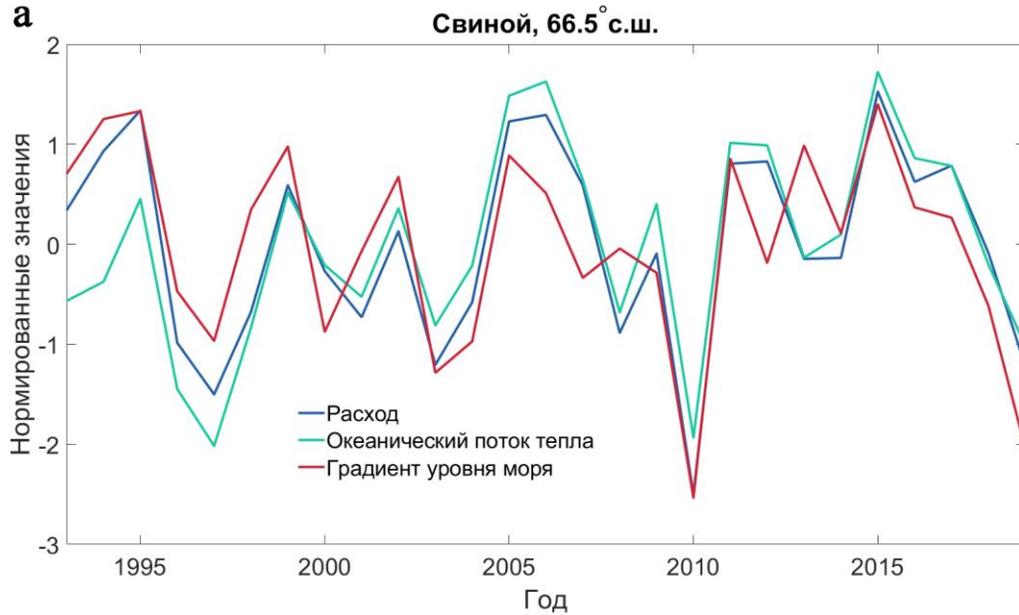
# РЕЗУЛЬТАТЫ



Годы наибольшего расхода через разрез Свиной (1995, 2005, 2006, 2015 годы) соответствуют уменьшению давления над Исландским минимумом и к северо-востоку от него над Норвежским морем. Также в эти годы происходит усиление ветра над районом исследования, что влияет на изменчивость градиента уровня через разрез. В годы наименьшего расхода через разрез Свиной (1996, 1997, 2003, 2010 годы) давление наоборот повышается над Исландским минимумом и к северо-востоку от него, ветра ослабевают.

Рисунок. а – среднее поле давления на уровне моря (гПа) и направление ветра в годы наибольшего расхода на разрезе Свиной (1995, 2005, 2006, 2015 годы); б – среднее поле давления на уровне моря и направление ветра в годы наименьшего расхода на разрезе Свиной (1996, 1997, 2003, 2010 годы); в – поле аномалий давления на уровне моря (получены как разность среднего давления в годы наибольшего расхода и в годы наименьшего расхода на разрезе Свиной).

# РЕЗУЛЬТАТЫ



Градиент уровня с расходом и океаническим потоком тепла в районе разреза Свиной имеет высокие положительные значимые связи – 0.82 и 0.64. При увеличении градиентов уровня моря через Норвежское течение усиливается расход, тем самым и океанический поток тепла.

Градиенты нагона и относительной завихренности между собой значимо отрицательно коррелируют (-0.60). У расхода и океанического потока тепла с градиентом нагона выявлены значимые положительные корреляции – 0.51 и 0.43, соответственно. Можно предположить, что на изменчивость расхода через Норвежское течение в первую очередь оказывает влияние градиент нагона. Тогда как с градиентом относительной завихренности нет значимых взаимосвязей на нулевом сдвиге у расхода и океанического потока тепла. Совместный эффект градиентов нагона и относительной завихренности также понижает связь с расходом (0.36, незначимая) и с океаническим потоком тепла (0.29, незначимая). С градиентом уровня у градиента нагона невысокая значимая связь (0.39).

Рисунок. а – межгодовая изменчивость нормированных значений расхода, океанического потока тепла и градиента уровня через разрез Свиной; б – межгодовая изменчивость нормированных значений градиента уровня через разрез Свиной, градиента нагона и градиента относительной завихренности через разрез Свиной.

# ВЫВОДЫ

- Океанический поток тепла на разрезе Свиной характеризуется расходом через него.
- В годы наибольшего расхода через разрез Свиной над районом исследования понижается давление и усиливается ветер.
- Расход формируется за счет изменения градиентов уровня моря через Норвежское течение под влиянием поля давления и ветра.
- Расход значимо положительно коррелирует с градиентом нагона, градиент уровня значимо и слабо связан с градиентом нагона.

*Авторы благодарят проект Министерства науки и высшего образования РФ No 13.2251.21.0006 (идентификатор RF-225121X0006, соглашение No 075-10-2021-104 в информационной системе «Электронный бюджет» РФ) и проект EU Horizon 2020 No 101003590.*