

УДК: 551.465

Рубрика 37.25.19

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ ОКЕАНИЧЕСКОГО ТЕПЛА В ПРОЛИВЕ ФРАМА  
 VARIABILITY OF OCEAN HEAT TRANSPORT IN FRAM STRAIT

Демченко Анна Юрьевна<sup>1</sup>, Башмачников Игорь Львович<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

Demchenko Anna Yurievna<sup>1</sup>, Bashmachnikov Igor Lvovich<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Nansen international environmental and remote sensing centre, Saint Petersburg

### Введение

Пролив Фрама является одной из важных областей взаимодействия вод Арктического бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО) и вод Северо-Европейского бассейна. Водные массы, переносимые через пролив Фрама, вносят значительный вклад в тепловой баланс Северо-Европейского и Арктического бассейнов, и в конечном счёте воздействуют на Атлантическую меридиональную океаническую циркуляцию и конвекцию в Гренландском море. Теплая атлантическая вода в проливе Фрама влияет и на региональную динамику океанических течений, протяженность и толщину морского льда, перенос питательных веществ и углерода, состояние региональных морских экосистем. В последние десятилетия отмечается потепление атлантических вод, что приводит к отступлению морского льда и изменению климата Европы и, особенно, скандинавских стран. В данной работе рассмотрены межгодовая и сезонная изменчивости расхода воды и потоков океанического тепла в проливе Фрама.

### Материалы и методы

В исследовании используется реанализ RARE (Regional Arctic Ocean/sea ice Reanalysis) версии 1.15.2, основанный на числовой модели MOM5/SIS1 с топографией дна GEBCO 2014 и форсингом ERA5 на квазиизотропной вихререзающей горизонтальной сетке. Южная граница на 44,7° с.ш. имеет ячейки размером 8,2 км, в то время как в проливе Фрама на 80° с.ш. ячейки имеют размер 1,7 км. Ассимиляция данных аналогична той, которая используется в глобальной программе Simple Ocean Data Assimilation версии 3 (SODA3). В данной работе используются осредненные месячные данные потенциальной температуры, солёности и скорости течения за 1980-2021 гг.

Для выделения водных масс использовались определения Rudels et al. (2005) и Fuverik et al. (2007). Были выделены поверхностные арктические воды ( $\sigma_{\theta} \leq 27,7$  км,  $V < 0$ ,  $\theta \geq -1,8$ ), атлантические воды ( $\sigma_{\theta} \leq 27,97$ ,  $\theta \geq 2$ ,  $V > 0$ ), рециркулирующие атлантические воды ( $\sigma_{\theta} \leq 27,97$ ,

$\theta \geq 2$ ,  $V < 0$ ). Здесь  $\sigma_\theta$  - потенциальная плотность воды,  $\theta$  – потенциальная температура,  $V$  – меридиональная составляющая скорости течения.

Расход (WT) через разрез рассчитывался по формуле:

$$WT = \iint V dz dl$$

где  $z$  – вертикальное расстояние между соседними горизонтами,  $l$  – горизонтальный шаг сетки вдоль разреза.

Поток океанического тепла (OHFp) через разрез рассчитывался по формуле:

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

где  $\rho_0$  - плотность морской воды ( $1027 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ );  $C_p$  - удельная теплоемкость морской воды ( $3900 \text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ );  $T$  - температура воды ( $^{\circ}\text{C}$ ), интегрированная по верхнему слою океана;  $T_{ref}$  - референтная температура, принятая равной температуре замерзания морской воды ( $-1,8^{\circ}\text{C}$ ).

### Результаты

Расход воды, осредненный за 1980-2021 гг. для АВ составил 15,3 Св, расход ПВ составил -7.52 Св, РАВ: -8.33 Св.

По составленным графикам межгодового расхода воды можно судить о тренде повышения расходов АВ и РАВ и о незначительном понижении расхода ПВ (рис.1). Пик расхода АВ пришелся на 2005 г. и составил 22,8 Св. Коэффициенты корреляции между межгодовыми расходами выделяемых типов вод очень малы ( $< 0,20$ ), что говорит о независимости изменчивости расходов воды друг от друга. Максимум расхода АВ наблюдается поздней осенью и зимой, минимум в июне-июле, что совпадает с наблюдаемыми данными (Beszczynska-Moller et al., 2012) (рис.1).

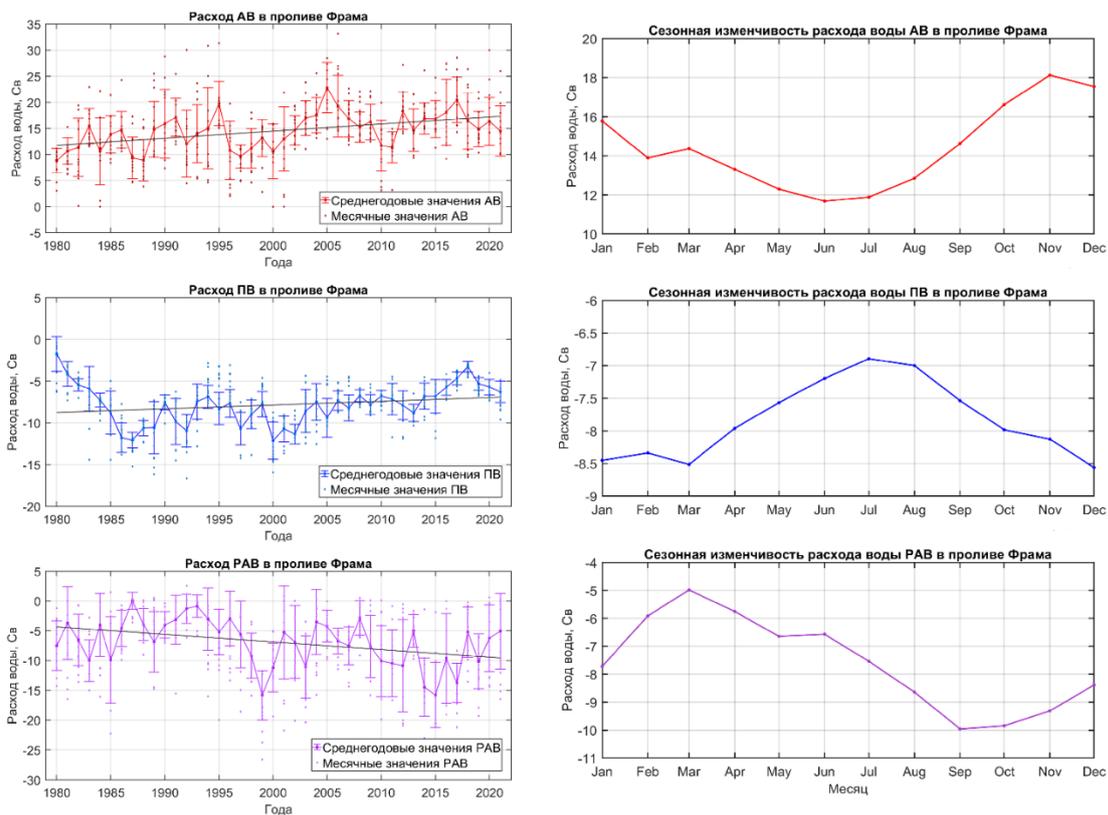


Рисунок 1. Межгодовая и сезонная изменчивость расхода воды в проливе Фрама (Св) на широте 78 с.ш.

Поток тепла, осредненный за 1980-2021 гг. для АВ составил 8,8 тВт, ПВ составил -1.7 тВт, РАВ: 2.9 тВт. Характер трендов переноса тепла для АВ, ПВ и РАВ такой же, как для расходов воды (рис.2). В целом, рассчитанные межгодовые потоки тепла аналогичны смоделированным в статье Kawasaki & Niroyasu (2016). Так же, как и в приведенной статье, была выявлена сильная корреляция между сезонными расходами отдельных водных масс и переносом тепла; однако для АВ и РАВ корреляции сильнее ( $>0,97$ ), чем для ПВ ( $>0,75$ ) (рис.2).

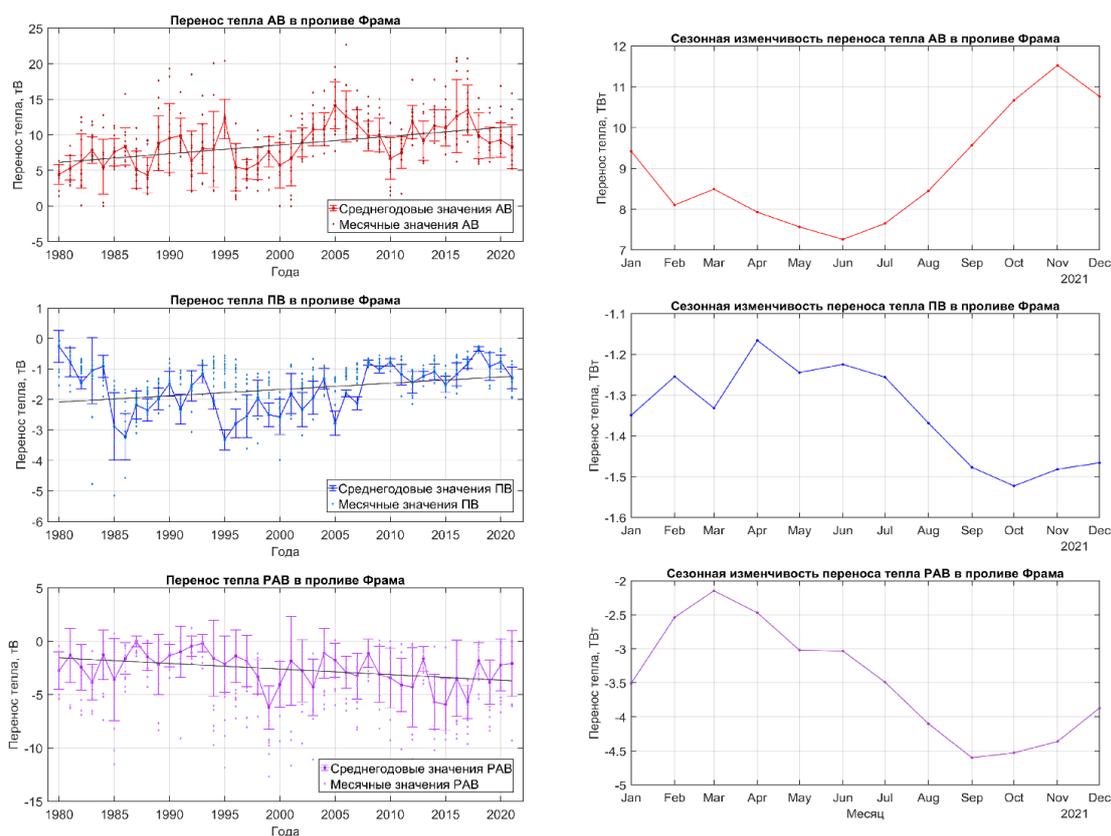


Рисунок 2. Межгодовая и сезонная изменчивость адвекции океанического тепла (ТВт) в проливе Фрама на широте 78 с.ш.

## Выводы

На основе проведенных исследований была выполнена оценка характера межгодовой и сезонной изменчивости расходов и потоков тепла атлантических вод, рециркулирующих атлантических вод и поверхностных арктических вод в проливе Фрама за период 1980-2021 гг., используя данные реанализа RARE15.1.2. Изменчивость АВ (как сезонная, так и межгодовая) реанализа RARE15.1.2 соответствует данным наблюдений. На межгодовых временных интервалах коэффициенты корреляции между расходами (адвекцией океанического тепла) АВ и РАВ малы и статистически незначимы, что показывает, что межгодовая изменчивость РАВ обусловлена не изменчивостью расхода АВ или его температурой, а другими факторами, например, региональным атмосферным форсингом.

## Список литературы:

1. Beszczynska-Moller, A., Fahrbach, E., Schauer, U., & Hansen, E. (2012). Variability in Atlantic water temperature and transport at the entrance to the Arctic Ocean, 1997-2010. *ICES Journal of Marine Science*, 69(5), 852–863. doi:10.1093/icesjms/fss056
2. Furevik, Tore & Mauritzen, Cecilie & Ingvaldsen, Randi. (2007). The Flow of Atlantic Water to the Nordic Seas and Arctic Ocean. *Arctic Alpine Ecosystems and People in a Changing Environment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 123-146. 10.1007/978-3-540-48514-8\_8.
3. Kawasaki, T., and Hasumi, H. (2016), The inflow of Atlantic water at the Fram Strait and its interannual variability, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 502– 519, doi:10.1002/2015JC011375.
4. Rudels, B., Björk, G., Nilsson, J., Winsor, P., Lake, I., and Nohr, C. (2005). The interaction between waters from the Arctic Ocean and the Nordic Seas north of Fram Strait and along the

East Greenland Current: results from the Arctic Ocean-02 Oden expedition, *J. Marine Syst.*, 55, 1–30, doi:10.1016/j.jmarsys.2004.06.008, 2005. 2197