

АТЛАНТИЧЕСКИЙ МЕРИДИОНАЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ТЕПЛА И ВОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ И ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

Степанов В.Н.¹

¹ФГБУ «ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ», 123242, г. Москва, Большой
Предтеченский пер., д.11-13, 8(499)795-21-71, vlntst@hotmail.co.uk

The paper presents an overview of recent modelled and observed-derived estimates of the Atlantic meridional circulation and the meridional heat transport at 26.5°N, 41°N and ~34°S over the 2004-2013 period.

В докладе представлен обзор новых модельных и полученных из данных наблюдений оценок Атлантической меридиональной циркуляции (АМЦ) и связанного с ней меридионального переноса тепла (МПТ) через ~26,5°N, 41°N и ~34°S за период 2004-2013 гг. Анализируются причины расхождения между модельными величинами АМЦ и МПТ и оценками, полученными из данных наблюдений.

Меридиональная циркуляция, ответственная за перенос тепла в океане, существенно влияет на климат Земли на разных временных масштабах. Океан является первичным источником декадной изменчивости, поскольку он может аккумулировать и перемещать тепло в течение длительных периодов времени. Особый интерес представляют изменения в Северной Атлантике, поскольку изменчивость АМЦ существенно влияет на климат Европы.

Моделируемая функция тока АМЦ на данной широте вычисляется, используя модельное поле меридиональных скоростей, а суммарный МПТ – используя модельные поля температуры и меридиональных скоростей. Такой расчет включает в себя вклад как от АМЦ, так и теплоперенос, обусловленный океанским круговоротом и океанскими вихрями. Однако, сравнивая численные результаты с наблюдениями, моделируемый перенос должен вычисляться, используя те же самые приближения, которые применяются при выводе оценок АМЦ из данных наблюдений. АМЦ, получаемая из наблюдений, представляется как сумма геострофической и экмановской компонент, и экмановский перенос рассчитывается из зонального напряжения ветра. Для расчета меридиональной геострофической скорости и затем геострофического переноса используются геострофическое и гидростатическое соотношения.

Модельные АМЦ и МПТ на $26,5^{\circ}\text{N}$ ($20,2 \pm 2,9$ Св ($1\text{Cв}=10^6 \text{ м}^3/\text{с}$) и $1,10 \pm 0,22$ ПВт), 41°N ($16,8 \pm 3,3$ Св и $0,87 \pm 0,15$ ПВт) и 34°S ($14,0 \pm 3,4$ Св и $0,35 \pm 0,17$ ПВт), получены с помощью вихреразрешающей модели [5] и результаты расчетов подробно изложены в [7-9]. Кроме того, чтобы сравнивать результаты численного моделирования с данными наблюдений, авторы [7-9] рассчитали модельные переносы, используя те же приближения, что и в наблюдениях.

Система наблюдения RAPID (The Rapid Climate Change Programme) на $\sim 26,5^{\circ}\text{N}$, действующая с апреля 2004 г., дает оценки наблюдаемых АМЦ и МПТ $17,2 \pm 3,7$ Св и $1,25 \pm 0,31$ ПВт за период 2004-2013 гг. [6]. Оценки объемного переноса ($13,4 \pm 3,0$ Св) и теплопереноса ($0,50 \pm 0,10$ ПВт) на 41°N из наблюдений [4, 10] получены с использованием комбинации данных дрейфтеров АРГО и спутниковых данных о высотах морской поверхности. Данные представлены в виде рядов с трехмесячным скользящим осреднением с января 2002 г. по декабрь 2013 г.

При расчете АМЦ на $\sim 34^{\circ}\text{S}$ по данным наблюдений использовались различные методы. Для расчета АМЦ на $\sim 34^{\circ}\text{S}$ авторы [1] использовали измерения ХВТ на 17 трансатлантических разрезах вблизи 35°S с июля 2002 г. по март 2007 гг., чтобы определить среднее значение и изменчивость АМЦ и МПТ на 35°S (соответственно $17,9 \pm 2,2$ Св и $0,55 \pm 0,14$ ПВт). Экмановский перенос рассчитывался из среднемесячных данных атмосферного реанализа NCEP/NCAR. Авторы [2] представили новые оценки АМЦ ($\sim 18,4$ Св), используя климатические данные температуры (T) и солёности (S) от поверхности моря до глубины ~ 2000 м с 2004 по 2013 гг. на 1° долготной сетке вдоль 34°S , выведенные из среднемесячных данных T и S, полученных с помощью АРГО. Ниже глубины погружения дрейфтеров АРГО были использованы климатические данные среднемесячных T и S из Атласа Мирового океана, чтобы воссоздать полные профили T и S. И, наконец, для оценки АМЦ и МПТ на 34°S авторы [3] использовали синтетические профили T и S, полученные с использованием альтиметрических данных между 20°S и $34,5^{\circ}\text{S}$, и их оценки для АМЦ и МПТ ($16,6 \pm 4,0$ Св и $0,49 \pm 0,23$ ПВт, соответственно) хорошо согласуются с результатами, полученными из измерений ХВТ и АРГО.

Показано, что отличие между модельными и наблюдаемыми АМЦ и МПТ может быть в значительной степени обусловлено стратегией наблюдений. Несмотря на хорошее согласие между модельными и наблюдаемыми величинами для верхней ветви АМЦ на $26,5^{\circ}\text{N}$, модель недооценивает средний меридиональный перенос тепла через эту широту. Расчеты, аналогичные методологии RAPID, приводят к уменьшению

переноса открытого океана, ведущего к завышению МПТ (более чем на 25%). Модельные значения МПТ, рассчитанные методами, использующими те же приближения, что и в наблюдениях, составляет ~ 0.3 ПВт. Эти различия в основном доминируют весной и в начале лета, и они могут быть отнесены к более сильному влиянию рециркуляции субтропического круговорота на западной границе, что приводит здесь к изменению теплопереноса.

Средняя величина МПТ, обусловленная переносом АМЦ на 41°N , сравнима с данными [4], в то время как суммарный моделируемый МПТ хорошо согласуется с предыдущими оценками, полученными в результате измерений вдоль сечения вблизи 41°N с использованием СТД-зондов. Показано, что модельный сезонный цикл на 41°N , не учитывающий экмановскую составляющую, совсем не коррелирует с наблюдаемой компонентой. Причиной такого отличия является то, что наблюдаемые оценки не учитывают транспортный вклад приграничных областей, в частности, на западной границе, и поэтому недооценивают баротропную изменчивость. Отсутствие корреляции также объясняется редким распределением дрейфтеров АРГО на западной границе в конце и в начале каждого года в 2007-2010 гг., ведущим к неизбежному использованию экстраполяции/осреднения имеющихся данных.

Средние значения АМЦ и МПТ на 34°S , полученные с помощью вихреразрешающей модели, значительно меньше оценок, полученных из наблюдений, в то время как модельные значения, полученные с более грубым модельным пространственным разрешением сопоставимы с наблюдениями. Причиной этой разницы является высокая мезомасштабная изменчивость плотности в вихреразрешающей модели вдоль 34°S по сравнению с данными наблюдений (или модельными расчетами на грубой сетке). Это приводит к меньшим значениям средней меридиональной геострофической скорости, и, соответственно, к более низким значениям АМЦ и МПТ в вихреразрешающих моделях. Так, использование для расчетов геострофических компонент поля плотности из вихреразрешающей модели вдоль 34°S на $1/4^\circ$ и $1/2^\circ$ долготной сетке дает более высокие значения АМЦ ($17,2 \pm 3,7$ и $19,4 \pm 4,4$ Св, соответственно), сравнимые с наблюдаемыми значениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dong S., Garzoli S. L., Baringer M. O., Meinen C. S., and Goni G. J. Interannual variations in the Atlantic Meridional Overturning Circulation and its relationship with the net northward heat transport in the South Atlantic// *Geophys. Res. Lett.* 2009. Vol.36. L20606 doi:10.1029/2009GL039356.

2. Dong S., Baringer M. O., Goni G. J., Meinen C. S., and Garzoli S. L. Seasonal variations in the South Atlantic Meridional Overturning Circulation from observations and numerical models // *Geophys. Res. Lett.* 2014. Vol.41. P.4611–4618. doi:10.1002/2014GL060428.
3. Dong S., Goni G., and Bringas F. Temporal variability of the South Atlantic Meridional Overturning Circulation between 20°S and 35°S // *Geophys. Res. Lett.* 2015. Vol.42. P.7655–7662 doi:10.1002/2015GL065603.
4. Hobbs W.R. and Willis J.K. Midlatitude North Atlantic heat transport: A time series based on satellite and drifter data // *J. Geophys. Res. Oceans.* 2012. Vol.117. C01008. doi: 10.1029/2011JC007039.
5. Iovino D., Masina S., Storto A., Cipollone A. and Stepanov V. A 1/16° eddying simulation of the global NEMOv3.4 sea ice-ocean system // *Geosci. Model Dev.* 2016. Vol. 9. P.2665–2684. www.geosci-model-dev.net/9/2665/2016/, doi:10.5194/gmd-9-2665-2016.
6. McCarthy G.D., Smeed D.A., Johns W.E., Frajka-Williams E., Moat B.I., Rayner D., Baringer M.O., Meinen C.S., Collins J., Bryden H.L. Measuring the Atlantic Meridional Overturning Circulation at 26°N // *Progress in Oceanography* 2015. Vol.130. P.91-111. ISSN 0079-6611.
7. Stepanov V., Iovino D., Storto A., Masina S., Cipollone A. Methods of calculation of the Atlantic meridional heat and volume transports from ocean models at 26.5°N // *J. Geophys. Res. Oceans* 2016. Vol.121. P.1459–1475. doi:10.1002/2015JC011007.
8. Stepanov V., Iovino D., Storto A., Masina S., Cipollone A. Observed and simulated variability of the AMOC at 41°N // *Journal of Marine Systems.* 2016. Vol.164. P.42-52. doi:10.1016/j.jmarsys.2016.08.004.
9. Stepanov V., Iovino D., Storto A., Masina S., Cipollone A. The impact of horizontal resolution of density field on the calculation of the Atlantic meridional overturning circulation at 34°S // *J. Geophys. Res. Oceans.* 2016. Vol.121. P.4323–4340. doi:10.1002/2015JC011505.
10. Willis J.K. Can in situ floats and satellite altimeters detect long term changes in Atlantic Ocean overturning? // *Geophys. Res. Lett.* 2010. Vol.37. L06602. doi:10.1029/2010GL042372.