

Изучение современных изменений уровня океана в Северной Атлантике

С.С. Щербак

*Институт космических исследований РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32
E-mail: feba@list.ru*

В работе рассмотрены основные современные средства наблюдения за уровнем океана; проведена классификация факторов, влияющих на долгопериодные изменения положения уровенной поверхности, а также выделены те из них, которые дают наибольший вклад в современное повышение уровня Мирового океана. Приведены результаты применения одного из расчетных методов – определения тренда стерического уровня в Северной Атлантике во второй половине XX века по данным World Ocean Database 2001. Результаты сопоставлены с результатами других исследователей и с данными, полученными на береговых приливных станциях.

Введение

С развитием средств и методов наблюдений за параметрами состояния атмосферы и океана стало возможным выявление трендов, свидетельствующих о современных нам глобальных изменениях природной среды. Так, по последним данным, зафиксированное в XX столетии повышение температуры приземных слоев атмосферы оценивается как $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ (IV доклад IPCC). Значительные изменения обнаруживаются также при рассмотрении поверхностной температуры океана. Закономерно предположить, что не менее примечательные процессы происходят и в толще океанических вод, однако при их изучении исследователи сталкиваются с большим количеством трудностей, вследствие чего им приходится прибегать к косвенным методам. Один из таких методов основан на том, что при изменении параметров состояния океана происходит соответствующее изменение его уровня. Эти изменения уровня, которые принято называть *стерическими*, привлекают все большее внимание исследователей [1-4].

Данная работа так же посвящена изучению стерических изменений уровня океана: на примере акватории Северной Атлантики (от 20° до 70° с.ш.) по гидрологическим данным определена скорость стерического изменения уровня, а также оценен вклад, оказываемый термической и соленостной составляющими в общее изменение уровня Мирового океана.

Основные факторы, определяющие многолетние изменения уровня океана

Все процессы и силы, вызывающие разнообразные динамические явления в океанах и влияющие на положение его поверхности, в наиболее общей форме можно объединить в следующие группы:

1) *космические*; в [5] они носят название *космогеофизических*; к ним относятся приливообразующие силы Луны и Солнца, свободные и вынужденные колебания полюсов Земли, неравномерные изменения скорости вращения Земли, а также астрономические факторы, связанные с изменением орбитальных параметров Земли, положением ее в Солнечной системе и т.п.

2) *гидрократические* – связанные с изменением количества воды в бассейне Мирового океана и параметров ее состояния [6]; в [5] они выделяются в группу *гидрометеорологических*, а обусловленные ими колебания уровня подразделяются на *эвстатические* (вызванные изменениями водного баланса), *анемобарические* (вызванные изменениями атмосферного давления) и *стерические* (вызванные изменениями плотности воды);

3) *геократические* – обусловленные изменениями емкости океанических впадин вследствие движений дна и континентальных блоков [6]; в [5] это *геолого-геодинамические* факторы: землетрясения, извержения вулканов, тектонические движения земной коры, накопление донных осадков, а также водообмен через дно океанов и морей с глубинными водами.

Все факторы, которым, по данным различных исследователей, принадлежит основная роль в современных изменениях уровня Мирового океана, относятся к группе гидрократических. В целом можно заключить, что повышение уровня объясняется большинством ученых совместным вкладом термического расширения, талых ледниковых вод и перераспределением вод между сушей и океаном.

Основные средства получения информации об изменениях уровня Мирового океана

Наиболее доступным способом проведения наблюдений за уровнем являются береговые станции. За многолетнюю историю их существования накопилось значительное количество материала, позволяющего составить представление о многолетних изменениях уровня Мирового океана. Так, один из самых длинных рядов наблюдений получен на станции Ливерпуль, которая функционирует с 1768 г. В работе [7] рассчитана скорость повышения уровня за период с 1880 г., которая составила $0,39 \pm 0,17$ мм/год; соответствующее значение для XX столетия – $1,22 \pm 0,25$ мм/год. Основная проблема при применении этого способа – изостатическая подвижность материковых блоков, на которых расположены береговые уровневые станции.

Относительно новым способом наблюдения за колебаниями уровня Мирового океана является способ альтиметрического радарного наблюдения. Пространственное распределение скорости изменения уровня океана по данным TOPEX/Poseidon показано на рис. 1. По объединенным данным TOPEX/Poseidon и Jason-1, средняя скорость повышения уровня за период 1993-2004 гг. составила $+2,8 \pm 0,4$ мм/год [8]. Недостатком этого метода является непродолжительность полученных рядов наблюдений и, как следствие, невозможность построения по ним достоверных вековых трендов. Так, в работе [9] указывается на то, что обнаруживаемый тренд изменения уровня может отражать декадную изменчивость океана (например, Эль-Ниньо), а не глобальный термостерический тренд, связанный с современным «глобальным потеплением».

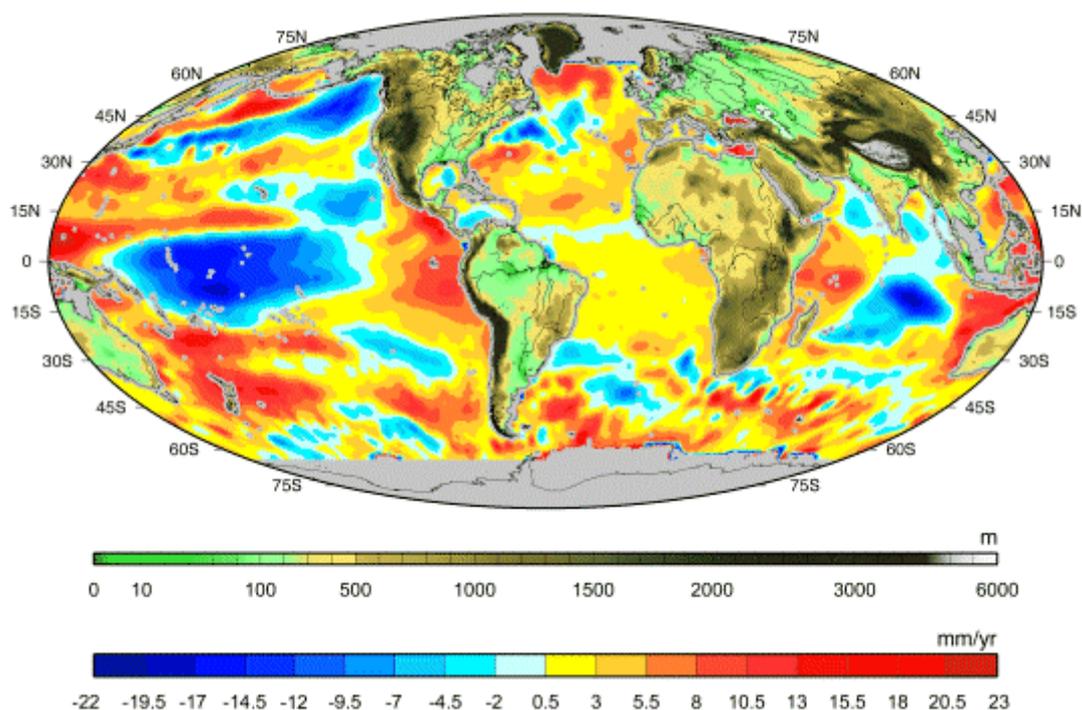


Рис. 1. Скорость изменения уровня Мирового океана по данным TOPEX/Poseidon за 1993-1999 гг. [10]

Помимо упомянутого метода наблюдений существует также косвенный, расчетный, метод, при котором исследуются изменения температуры и солёности водной толщи за некоторый период и делается вывод о соответствующих изменениях уровня океана. Одним из наиболее доступных способов изучения этих изменений является проведение повторных океанологических разрезов, по результатам которых можно судить о тенденциях к потеплению (охлаждению) или осолонению (опреснению) в отдельных регионах Мирового океана. Северная Атлантика является самым исследованным в данном отношении регионом, и для нее получены наиболее очевидные свидетельства потепления глубинных вод.

В последние годы особым вниманием исследователей пользуется акватория Северной Атлантики в районе южной оконечности Гренландии в связи с тем, что в этом районе формируются глубинные воды Мирового океана и тем самым приводится в действие глобальный океанический конвейер [11-13]. В этих работах показано, что дополнительным средством изучения параметров состояния вод является исследование пресноводного баланса акваторий.

Альтернативу методу повторных измерений составляет использование банков гидрологических данных [14-16]. Так, в данной работе предпринята попытка комплексного использования всех доступных гидрологических данных World Ocean Database-2001 для изучения изменений уровня Северной Атлантики.

Описание данных и методика расчета стерического уровня океана

В настоящей работе были использованы все имеющиеся в World Ocean Database-2001 данные по температуре и солёности. Общее число измерений, использованных для расчетов, составило около 6700000. Расчеты производились по 5-градусным трапециям; временная протяженность – 45 лет (с 1955 по 2000 гг.). Чтобы получить сведения о процессах, протекающих как в верхних, так и в более глубоких слоях океана, расчеты стерического уровня и его составляющих производились для двух вариантов: 0-1500 м и 0-3000 м.

Расчет стерического изменения уровня океана, а также термической и солёностной его составляющих был произведен в соответствии с описанием, приведенным в [17-18]. Оценка скорости изменения уровня производилась с помощью уравнения линейной регрессии. Если погрешность коэффициента регрессии превысила значение самого коэффициента, то значение в данном квадрате отбраковывалось.

Обсуждение результатов

По полученным результатам были построены карты распределения скорости изменения стерического уровня (рис. 2), а также вклада термической и солёностной составляющих (рис. 3 и 4).

Распределение скорости изменения стерического уровня в слое 0-1500 м характеризуется постепенным изменением ее значения от $-0,2$ см/год на северо-востоке до $0,6$ см/год на юго-востоке исследуемой акватории. Для случая 0-3000 м аналогичный интервал несколько шире: от $-0,3$ см/год до $1,0$ см/год. Преобладающими в обоих случаях являются значения $0,1-0,4$ см/год.

Для карты значений солёностной составляющей, слой 0-1500 м, характерно изменение с широтой от $-0,3$ см/год в южной до $0,6$ см/год в северной части акватории. Нулевая изолиния проходит в пределах $40-50^\circ$ с.ш. Преобладающие значения тренда от $-0,3$ до $0,2$ см/год. Для слоя 0-3000 м нулевая изолиния проходит в пределах $40-45^\circ$ с.ш.; максимальные значения $-0,4$ см/год и $0,7$ см/год, преобладающие – от $-0,3$ до $0,3$ см/год.

При рассмотрении карты термической составляющей для слоя 0-1500 м можно отметить следующее. Область отрицательных значений приходится на юг моря Лабрадор, а также на часть Атлантического океана к северу от $50-60^\circ$ с.ш. Максимальные значения тренда в данном случае $-0,6$ и $0,8$ см/год, преобладающие – от $-0,2$ до $0,6$ см/год.

Полученные значения термостерического тренда хорошо согласуются с результатами, опубликованными в [14].

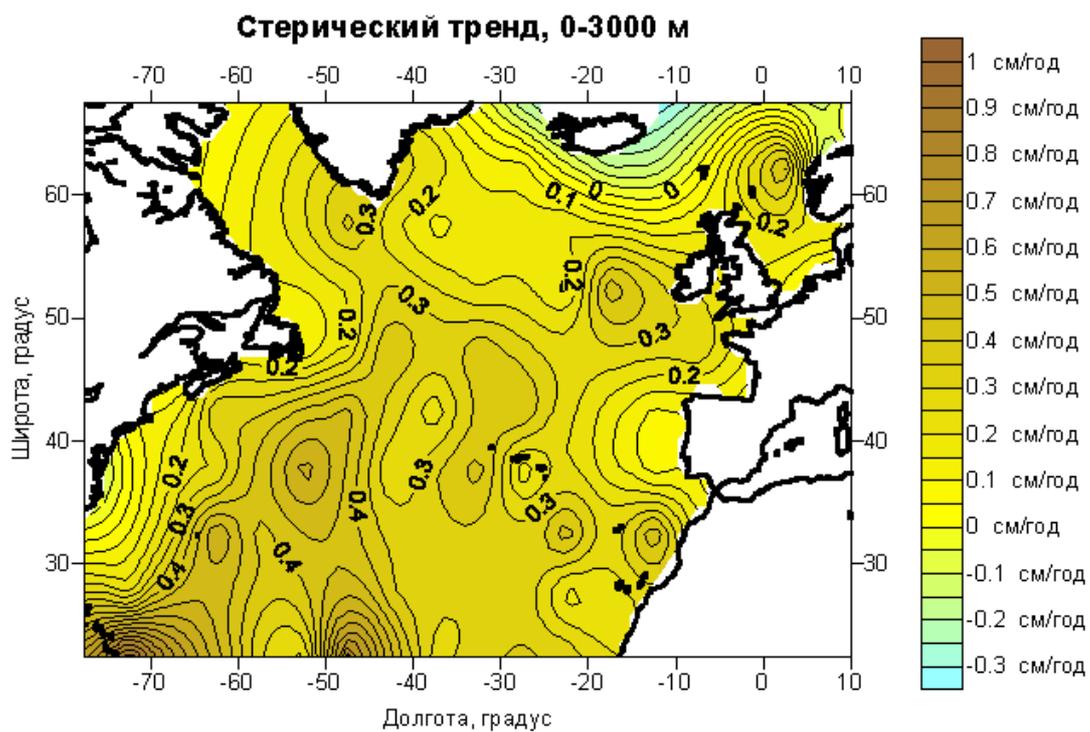


Рис. 2. Скорость стерического изменения уровня (0-3000 м), см/год

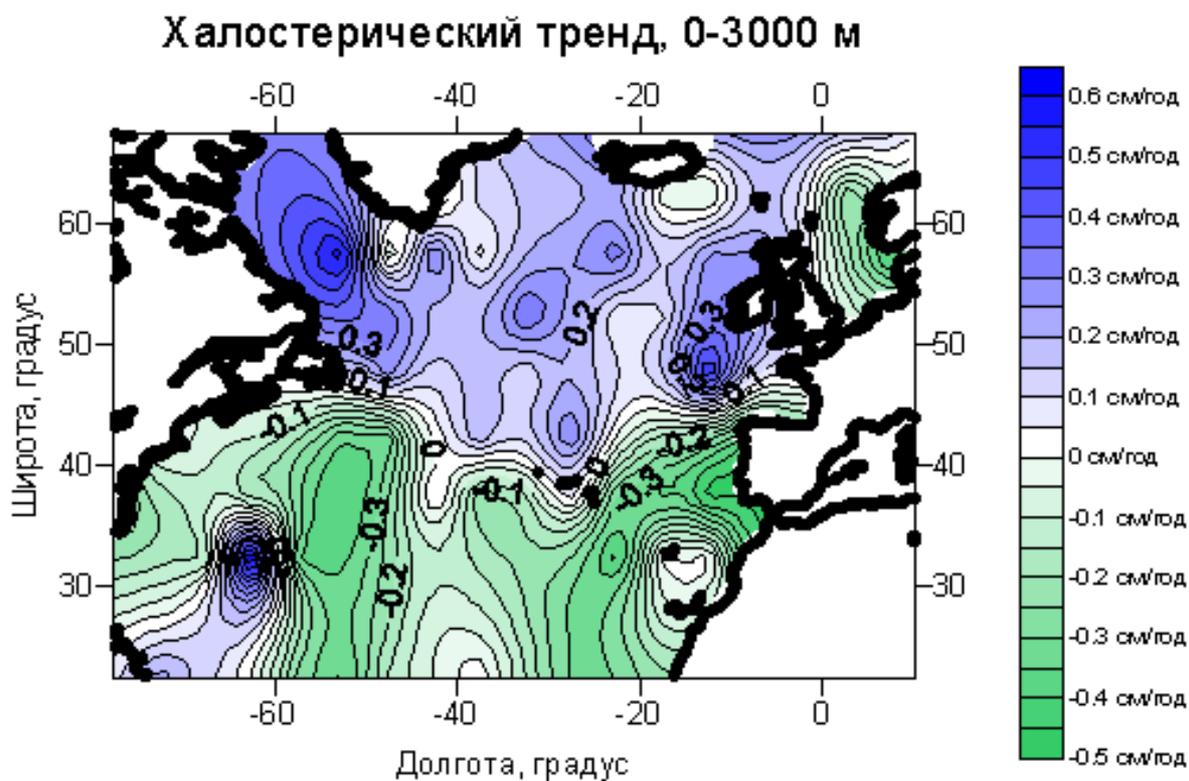


Рис. 3. Скорость халостерического изменения уровня (0-3000 м), см/год

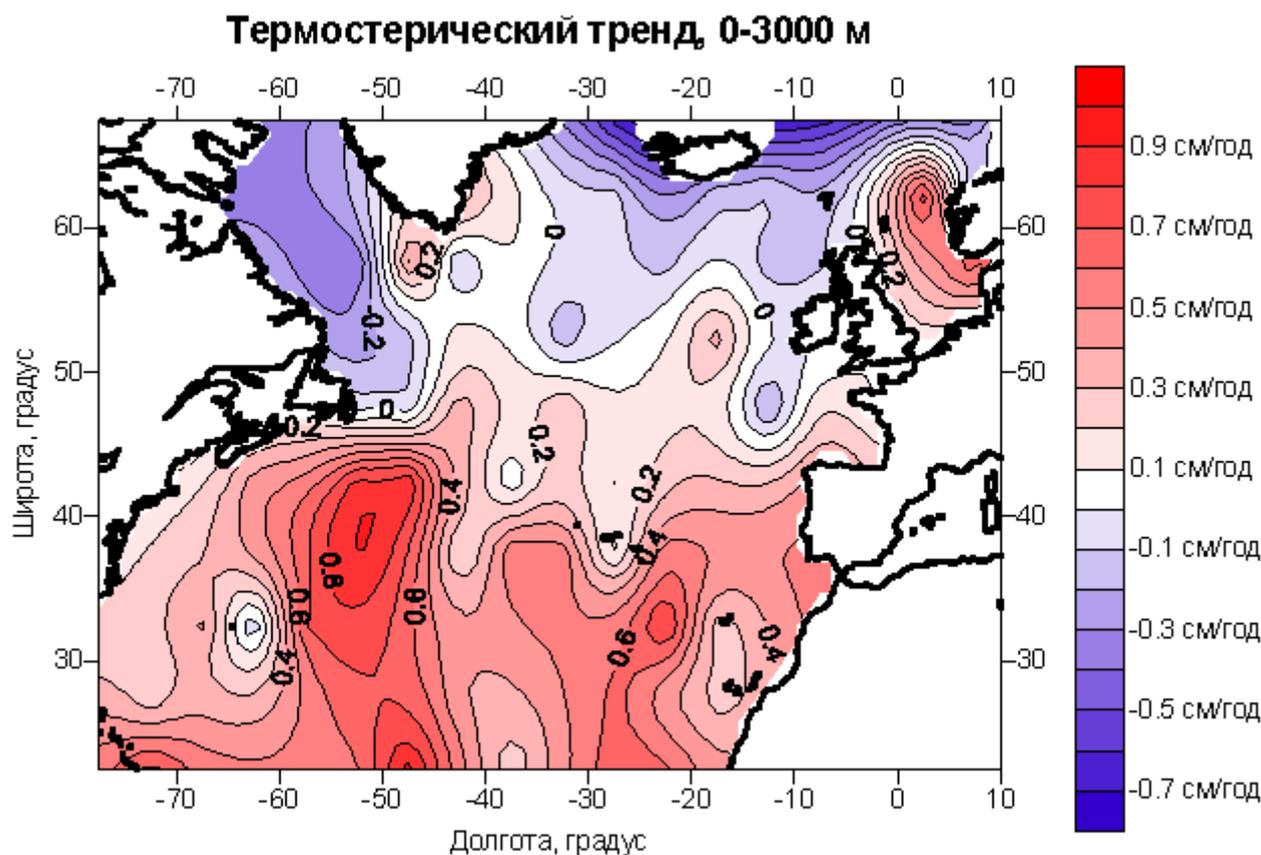


Рис. 4. Скорость термостерического изменения уровня (0-3000 м), см/год

В результате наложения двух этих факторов мы получаем следующую картину формирования отмеченного положительного тренда изменения уровня океана:

- южнее 40-45° с.ш. наблюдается положительный вклад термической и отрицательный соленостной составляющих; абсолютные значения первой примерно в 2 раза больше;
- на акватории от 40-45° с.ш. до 50-55° с.ш. обе составляющих дают слабый положительный вклад, примерно равный по абсолютным значениям;
- севернее 55° с.ш. положительный соленостный вклад преобладает над отрицательным температурным вкладом.

Полученные результаты были сопоставлены с данными натурных наблюдений за уровнем на береговой приливной станции St. Georges (Бермудские о-ва) за 1932-2003 гг. Скорость повышения уровня моря, зафиксированная на станции, составила 0,21 см/год, а тренд стерического уровня в соответствующем 5-градусном квадрате за 1960-2000 гг. 0,22 см/год.

Выводы

Многолетние изменения стерического уровня в Северной Атлантике проявляют сходные черты как в первом слое (0-1500 м), так и во втором (0-3000 м), что свидетельствует об устойчивости выявленного тренда и значительном распространении определяющих его процессов в толще вод. В обоих случаях южнее 60-70° с.ш. отмечаются преимущественно положительные изменения уровня, преобладающие значения которых в пределах этой акватории составляют 0,1-0,4 см/год.

Установлено, что изменение стерического уровня происходит за счет изменения как температуры, так и солености. Вклад последнего фактора, как правило, в литературе недооценивается.

Сопоставление определенного в данной работе тренда стерического уровня с трендом, зафиксированным на береговых приливных станциях, свидетельствует о некоторой завышенности полученного тренда стерического уровня. В [16] указано, что возможной причиной этого выступает завышенность термостерического тренда в районе Гольфстрима. Этот вопрос требует дальнейшего рассмотрения.

Литература

1. *Antonov, J.I., Levitus, S. and Boyer, T.P.* 2005. Thermosteric sea level rise, 1955 - 2003. *Geophysical Research Letters*. 32, L12602, doi: 10.1029/2005GL023112.
2. *Cabanes, C., A. Cazenave, and C. Le Provost.*, 2001: Sea Level Rise During Past 40 Years Determined from Satellite and in Situ Observations, *Science*, 294(5543), 840-842.
3. *Lombard A., Cazenave A., DoMinh K, Cabanes C., Nerem R.S.* Thermosteric sea level rise for the past 50 years; comparison with tide gauges and inference on water mass contribution // *Global and Planetary Change* 48 (2005) 303-312.
4. *Lombard A., Cazenave A., Le Traon, P. and Ishii, M.* 2005. Contribution of thermal expansion to present-day sea-level change revisited. *Global and Planetary Change*. 47: 1-16.
5. *Малинин В.Н.* Изменения уровня Мирового океана и климат // Сб. трудов международной школы-конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Изменение климата и окружающая среда». СПб., Гранд, 2005, 392 с.
6. *Каплин П.А., Селиванов А.О.* Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М., ГЕОС, 1999
7. *Roemmich, D. and C. Wunsch*, 1984: Apparent changes in the climatic state of the deep North Atlantic Ocean. *Nature*, 307, 447-450
8. *Cazenave, A. and R. S. Nerem.*, 2004: Present-day sea level change: Observations and causes, *Rev. Geophys.*, 42(3), 1 to 20.
9. *Lombard A., Cazenave A., DoMinh K, Cabanes C., Nerem R.S.* Thermosteric sea level rise for the past 50 years; comparison with tide gauges and inference on water mass contribution // *Global and Planetary Change* 48 (2005) 303-312.
10. *Cazenave A., K. Do Minh, J.-F. Cretaux, C. Cabanes, S. Mangiarotti.* Interannual sea level change at global and regional scales using Jason-1 altimetry // http://www-aviso.cnes.fr:8090/HTML/information/publication/news/news8/cazenave_fr.html
11. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. The IPCC's Third Assessment Report.* Cambridge University Press, UK
12. *Curry, R. and C. Mauritzen*, 2005. Dilution of the northern North Atlantic in recent decades. *Science*, 308: 1772-1774.
13. *Parrilla, G., A. Lavin, H. Bryden, M. Garcia, and R. Millard*, 1994: Rising temperatures in the subtropical North Atlantic Ocean over the past 35 years. *Nature*, 369, 48-51
14. *Antonov, J.I., Levitus, S. and Boyer, T.P.* 2005. Thermosteric sea level rise, 1955 - 2003. *Geophysical Research Letters*. 32, L12602, doi: 10.1029/2005GL023112.
15. *Joyce, T.M., R.S. Pickart, and R.C. Millard*, 1999: Long-term hydrographic changes at 52 and 66W in the North Atlantic subtropical gyre and Caribbean. *Deep-Sea Research II*, 46, 245-78
16. *Levitus, S., J.I. Antonov, T.P. Boyer, and C. Stephens*, 2000: Warming of the World Ocean. *Science*, 287, 2225-2229.
17. *Архипкин В.С., Добролюбов С.А.* Океанология. Физические свойства морской воды: Учебное пособие // М.: МАКС Пресс, 2005. 216 с.
18. *Мамаев О.И.* Океанографический анализ в системе α -s-t-p. М., изд-во МГУ, 1963.