

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ pH ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ С СЕРЕДИНЫ XX СТОЛЕТИЯ ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Е.А. Гребнева¹, А.Б. Полонский¹

¹Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

ASSESSMENT OF THE SURFACE WATER pH CHANGE OF THE BLACK SEA FROM THE MIDDLE OF THE XX CENTURY TO THE PRESENT

E.A. Grebneva¹, A.B. Polonsky¹

¹Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russia

На основе архивных данных Института природно-технических систем за период с 1955 до 2010 гг. проводится оценка долговременной изменчивости величины pH в верхнем слое глубоководной части Черного моря. Району исследования свойственна пониженная пространственно-временная изменчивость поля pH, относительно прибрежных и шельфовых районов, что позволило выделить долговременный антропогенно-обусловленный тренд в изменчивости величины pH на значимом уровне.

Research of the long-term variability of the water pH in the upper layer of the deep-water part of the Black Sea over the period from 1955 to 2010 on the basis of the archival data of the Institute of Natural and Technical Systems was performed. The area of research was characterized by decreasing of spatio-temporal variability of the water pH in comparison with coastal and shelf regions, which determined the long-term anthropogenically-conditioned trend in the variability of the water pH at the significant level.

Введение.

Одним из важнейших показателей гидрохимического состава вод является величина pH. Крупномасштабная структура поля pH и климатические тенденции его изменений в верхнем слое морских вод зависят от изменения парциального давления углекислого газа в атмосфере, свойств поступающих в море речных вод и атмосферных осадков, растворимости CO₂ в воде, биогеохимических процессов в морской среде и других факторов [1]. Моря и океаны играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле, в основном поглощая CO₂. В современный период происходит изменение кислотно-основного равновесия в морской среде в сторону понижения pH. Опубликованные оценки показали, что за последние 60 лет концентрация CO₂ в приземном слое атмосферы увеличилась приблизительно с 280 до 400 p.p.m. (т. е. возросло более чем в 1,4 раза) и продолжает увеличиваться. Необходимо отметить, что около 30% углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу в результате хозяйственной деятельности, поглощается Мировым океаном, что и приводит к уменьшению величины pH верхнего слоя вод [2–5]. Даже при сокращении количества выбросов парниковых газов в атмосферу, кислотность морской воды будет продолжать расти еще долгое время, поскольку CO₂ – долгоживущий атмосферный газ. Увеличение кислотности вод, вызванное таким образом, может существенно влиять на морские экосистемы. Именно поэтому исследованию тенденций изменений величины pH в океанических водах в настоящее время уделяется большое внимание [2,7,8].

Материалы и метод их обработки.

В работе использовались данные банка Института природно-технических систем (ИПТС), который содержит 169646 измерений величины pH на 29086 станциях [9]. Пространственно-временное распределение станций не равномерно. Наиболее обеспечены измерениями северо-западный шельф и южные районы Черного моря, а также период после 1955 г. и до 2010 гг. С глубиной и в холодный период года количество данных существенно уменьшается.

Для анализа многолетней изменчивости pH использовались данные, полученные в слое 0–100 м глубоководной части Черного моря, ограниченной изобатой 1000 м в период после 1955 и до 2010 гг. Исходные данные, прошедшие предварительный контроль качества [10], группировались по месяцам и сезонам. Среднесезонные поля, проинтерполированные в узлы регулярной сетки, использовались для построения климатического поля pH. Для расчета долговременного тренда ежеквартальные данные усреднялись по десятилетним периодам с пятилетним сдвигом: 1955–1964, 1960–1969 и так далее. Расчет средне-декадного значения pH для открытой части моря выполнялся на основе средних по акватории моря значений, полученных из восстановленных в узлах регулярной сетки климатических полей pH за каждые

три месяца. Это позволило избежать элиазинга и получить статистически достоверные результаты при расчете трендов [3].

Пространственное распределение величины рН.

На поверхности моря, исключая северо-западный шельф и мелководные участки моря, диапазон климатических изменений среднегодовой величины рН составляет 8,35–8,41 при среднем значении рН 8,38. Пониженные величины рН приурочены к восточной и западной частям моря, где расположены центры циклонических круговоротов, формируемых Основным Черноморским течением (ОЧТ). Для этих областей характерен подъем подповерхностных и промежуточных вод с пониженными значениями рН (рис. 1). На формирование минимальных значений рН в восточной части море влияет также наличие здесь квази-перманентной циклонической вихревой структуры, формирующейся на восточной периферии ОЧТ [11]. В центральной части моря находится область повышенных значений рН (диапазон изменений от 8,4 до 8,41). Между указанными областями располагается зона с повышенными горизонтальными градиентами рН. Она приблизительно совпадает с зоной температурного фронта, отделяющей холодные воды центров циклонических круговоротов от более теплых вод с нисходящими вертикальными движениями. Эта зона характеризуется также повышенным содержанием биогенных элементов. С глубиной величина рН уменьшается до 8,03 на горизонте 100 м [10].

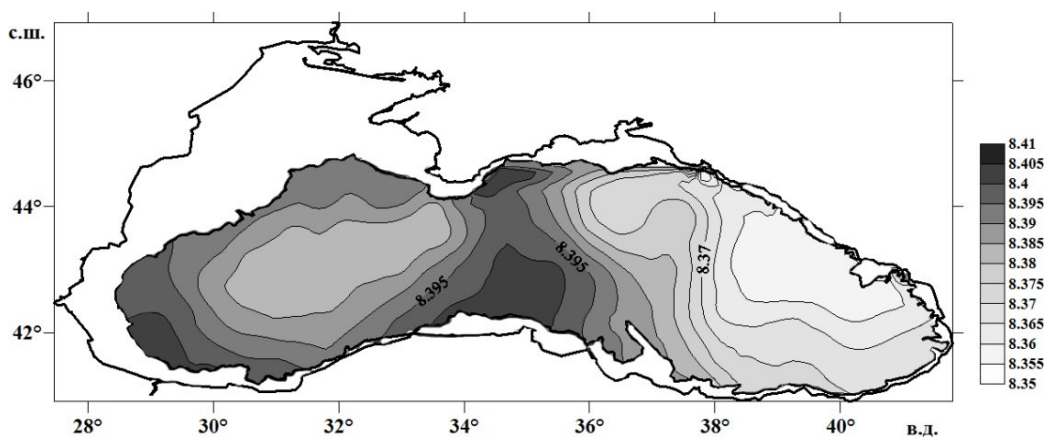


Рис.1. Климатическое распределение величины рН на поверхности в глубоководной части Черного моря, полученное по всем данным.

Междесятилетняя изменчивость величины рН.

По полученным данным выделяется значимый отрицательный линейный тренд рН, величина которого близка к -0,06 ед. рН за 50 лет (или -0.12 ед. рН за 100 лет, рис. 2). Полученный результат соответствует оценкам тенденций, увеличения кислотности поверхностных вод других регионов Мирового океана в эпоху наблюдаемой антропогенной нагрузки [2,12]. Отметим, что полученная оценка подтверждает ранее опубликованную одним из авторов настоящей работы оценку тренда рН в приповерхностных водах Черного моря [3]. Однако она не была статистически значима. Полученная нами оценка тренда значима на 95% - ом уровне.

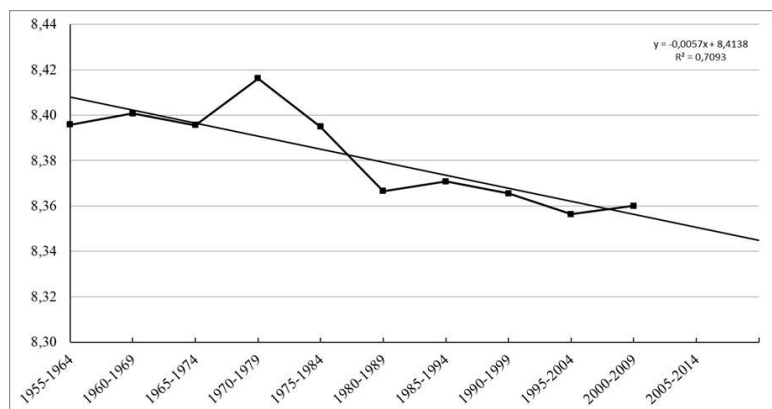


Рис. 2. Междесятилетняя изменчивость осредненной по глубоководной части Черного моря и по десятилетним временным отрезкам величины pH на поверхности. Прямая линия – линейный тренд, значимый на 95 % -ом уровне.

Заключение.

Пространственные климатические неоднородности величины pH в приповерхностном слое открытой части Черного моря составляют около 0.1 ед. pH. В глубоководной части моря пониженные величины pH наблюдаются в окрестности центров циклонических круговоротов, где имеет место подъем более кислых вод, максимальные величины – в областях опускания вод. Наблюдается увеличение кислотности поверхностного слоя вод, величина которого обусловлена повышением содержания углекислого газа в нижней тропосфере и поглощением части избыточного CO₂ морской водой. Это увеличение проявляется в уменьшении величины pH в водах приповерхностного слоя моря, которое составляет около -0.12 ед. pH за 100 лет, что близко к оценкам, полученным для других регионов Мирового океана. Подчеркнем, что статистически значимый тренд величины pH в приповерхностном слое за полувековой период для всего Черного моря удалось получить впервые.

Литература

1. Симонов А.И., Альтман Э.Н. Гершанович Д.Е. (ред.) Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. СПб: Гидрометеоиздат, 1992. Т. 4: Черное море, вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. 220 с.
2. Gattuso, J.-P., Hansson, L. Ocean acidification: background and history // Ocean Acidification. OxfordUniversityPress, Oxford, 2011. P. 1–20.
3. Polonsky A. Had been observing the acidification of the Black Sea upper layer in XX century? Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v.12, 2012, 391-396, DOI:10.4194 /1303-2712-v12_2_27.
4. IPCC5 Assessment (Chapter 3). 2013. P. 255–266.
5. Schulz K.G., Barcelos e Ramos J., Zeebe R.E. et al. CO₂ perturbation experiments: similarities and differences between dissolved inorganic carbon and total alkalinity manipulations // Biogeosciences. 2009. No 6. P. 2145–2153. doi:10.5194/bg-6-2145-2009.
6. Polonsky A.B. Upwelling in the Northern Black Sea: Description, Mechanisms and Impact on the Chlorophyll-A Concentration // Upwelling: Mechanisms, Ecological Effects and Treats to Biodiversity / Ed. by W.E. Fischer and A.B. Green. N.Y.: Nova Science Publ. Inc., 2013. P. 59–76.
7. Andersson, A. J., Mackenzie F.T., Bates, N.R. Life on the margin: implications of ocean acidification on Mg-calcite, high latitude and cold-water marine calcifiers // Marine Ecology Progress Series. 2008. V.373. P. 265–273.
8. Ries, J.B. Skeletal mineralogy in a high-CO₂ world // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2011. V. 403. P. 54–64.
9. В.В. Мельников, А.Б. Полонский, А.А. Котолупова и др. GIS Института природно-технических систем. // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2016. № 4 (24). С. 49–55.
10. Полонский А.Б., Гребнева Е.А. Климатическое распределение pH в глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2017. №10 (30). С. 88–95.
11. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Станичный С.В., Бурдюгов В.М. Бассейновая циркуляция и мезомасштабная динамика Черного моря под ветровым воздействием // Современные проблемы динамики океана и атмосферы. Москва, 2010. С. 347–368.

12. Zeebe R.E., Wolf-Gladrow D. CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes / Elsevier Oceanogr. Ser, 2001. 346 p.

Работа частично выполнена при поддержке РФФИ (грант №18-45-920014).

This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 18-45-920014).