



www.volsu.ru

## ГЕОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

---

---

DOI: <https://doi.org/10.15688/jvolsu11.2017.3.6>

UDC 502.51:677.027.15

LBC 26.221

### RESEARCH OF REGULARITY OF LATITUDE DISTRIBUTION OF LEVEL OF OCEANS WATER ACIDIFICATION DUE TO INCREASE OF PERCENTAGE OF CO<sub>2</sub> IN ATMOSPHERE

**Hikmet Gamid ogly Asadov**

National aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

**Sima Azhdar gyzy Askerova**

National aerospace Agency, Baku, Azerbaijan

**Abstract.** It is well known that due to absorption of anthropogenic CO<sub>2</sub> by ocean water the PH of ocean water decreases. At the same time the concentration of carbonate ions, the saturated condition of biologically significant minerals calcite and aragonite are also decreasing which in total is presented as acidification of oceans water. According to huge number of researches devoted to acidification of oceans surface water due to effect of atmospheric CO<sub>2</sub> the fact of decrease of Ph of ocean water can be considered as a well proved fact. But regularities of spatial distribution of this process is studied non sufficiently. The carried out analysis of scientific-technical literature make it possible to reveal the contradiction in qualitative characteristics of dependence of PH of ocean water on geographic latitude. Some scientific works state that Ph increases with geographic latitude while other ones claim contradicting results. In the paper this question is analyzed and comparison of theoretically derived results with results of known experiments is carried out. As a result of held model research the inverse non-linear dependence between pH and geographical latitude is derived. The carried out model research does show the presence of minimum in functional dependence of linearly weighted sum of model values of PH on geographic latitude. The experimental confirmation of this regularity is given.

**Kea words:** absorption, acidification, ocean water, geographic latitude, model, functional, optimization.

© Асадов Х.Г., Аскерова С.А., 2017

УДК 502.51:677.027.15

ББК 26.221

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ШИРОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОДКИСЛЕНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ ВОД ИЗ-ЗА РОСТА ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ СО<sub>2</sub> В АТМОСФЕРЕ

**Хикмет Гамид оглы Асадов**

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджан

### Сима Аждар гызы Аскерова

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджан

**Аннотация.** Хорошо известно, что в результате поглощения антропогенного  $\text{CO}_2$  океаническими водами уменьшается рН океанических вод, концентрация карбонатных ионов, а также уменьшается насыщенное состояние биологически важных минералов – кальцита и арагонита, что представляется как окисление океанических вод. Согласно многочисленным исследованиям по подкислению поверхностных океанических вод из-за воздействия атмосферного  $\text{CO}_2$  факт уменьшения рН океанических вод из-за поглощения углекислого газа можно считать вполне доказанным явлением. Однако, закономерности пространственного распределения этого явления изучены недостаточно. Детальный анализ соответствующей научно-технической литературы позволило обнаружить противоречие в качественной характеристике зависимости рН поверхностных океанических вод от географической широты. В ряде работ утверждается наличие роста рН по географической широте, в то время как в некоторых других утверждается противоположное. В настоящей статье проанализирован указанный вопрос и осуществлено сравнение теоретически полученных результатов с результатами известных экспериментальных исследований. В результате проведенного модельного исследования получена обратная нелинейная зависимость между рН и географической широтой. Проведенное теоретико-модельное исследование показало наличие минимума в функциональной зависимости линейно-взвешенной суммы теоретических и полученной модельной величин рН от географической широты. Приведено экспериментальное подтверждение этого вывода.

**Ключевые слова:** поглощение, подкисление, океанические воды, географическая широта, модель, функционал, оптимизация.

Согласно работе [3], начиная с промышленной революции в 18-м веке антропогенная деятельность привела к увеличению концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере от 280 ppm до 387 ppm. При этом половина этого роста произошла в последние три десятилетия. Рост концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере сопровождается ростом температуры атмосферы. Согласно работе [8], океан в течение индустриальной эры поглотил почти одну четверть суммарной антропогенной эмиссии  $\text{CO}_2$ , что позволил несколько снизить концентрацию  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Вместе с тем, при поглощении антропогенного  $\text{CO}_2$  океаническими водами, происходят определенные химические реакции, вследствие чего: (а) уменьшается рН океанических вод; (б) уменьшается концентрация карбонатных ионов ( $\text{CO}_3^{2-}$ ); (с) уменьшается насыщенное состояние биологически важных минералов  $\text{CaCO}_3$ : кальцита ( $\Omega_{\text{Ca}}$ ) и арагонита ( $\Omega_{\text{Ar}}$ ), что в сумме обозначается как «окисление океанических вод» [2]. К настоящему времени рН океанических поверхностных вод уже уменьшился на величину 0,1 и продолжает уменьшаться со скоростью  $0,0018 \text{ год}^{-1}$  [1]. Ожидается, что к концу 21-го века концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере достигнет величины 200 ppm [4], в результате чего рН поверхностных вод уменьшится еще на величину 0,3. Согласно [3] процесс увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  в ат-

мосфере может быть описан регрессионным уравнением

$$y = 1,811x - 3252,4;$$

где  $y$  – концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере (ppm);  $x$  – годы.

При этом уменьшение рН соответствует регрессионному уравнению

$$y = -0,00188x + 11,842$$

Таким образом, согласно [1–3, 4, 8], а также многочисленным источникам по окислению поверхностных океанических вод из-за воздействия атмосферного  $\text{CO}_2$  факт уменьшения рН океанических вод из-за поглощения углекислого газа можно считать вполне доказанным явлением. Вместе с тем, закономерности пространственного распределения этого явления изучены недостаточно. В ряде работ (см. например [6], утверждается наличие роста рН по географической широте, в то время как в других работах (см. например [7]), утверждается противоположное. В настоящей статье мы проанализируем указанный вопрос и сравним теоретически полученные результаты с результатами известных экспериментальных исследований. Прежде всего, детально проанализируем ре-

зультаты экспериментально-модельных исследований в работе [6]. Так, согласно работе [6], значения зонально усредненных величин рН поверхностных вод растут по географической широте и в то же время уменьшаются по годам в течение 1880–1995 гг. (рис. 1).

Далее, рассмотрим вопрос о пространственном (широтном) распределении атмосферного  $CO_2$ . Согласно данным, приведенным в [7], по годам наблюдается устойчивый рост концентрации  $CO_2$  по географической широте. Эти данные, согласно [7], демонстрируют следующие процессы:

- очевидный факт, заключающийся в том, что  $CO_2$  в основном генерируется в Северном Полушарии;
- транспортировка  $CO_2$  в южное полушарие.

Далее, рассмотрим известные результаты исследований зависимости рН от парциального давления атмосферного  $CO_2$ . Согласно работе [5], для открытых систем, в частности для поверхностных океанических вод имеет место следующее приблизительно равенство

$$pH \approx 3,9 - \frac{1}{2} \log P_{CO_2} \quad (1)$$

где  $P_{CO_2}$  – парциальное давление  $CO_2$ .

Как было отмечено выше, согласно [6], рН поверхностных океанических вод имеет общий тренд роста с увеличением географической широты. Математически эта зависимость может быть представлена в виде многочлена

$$pH_1 = pH_0 + k_1 L \quad (2)$$

где  $pH_0 = \text{const}$ ;  $L$  – географическая широта;  $k_1 = \text{const}$ .

Далее, как это было отмечено выше, согласно работе [7], концентрация  $CO_2$  в атмосфере растет с увеличением географической широты, то есть в первом приближении имеет место зависимость

$$CO_2 = CO_{2,0} + k_2 L \quad (3)$$

где  $CO_{2,0} = \text{const}$ ;  $k_2 = \text{const}$ .

Покажем, что соотношения (1)–(3) позволяют вычислить точную качественную характеристику зависимости рН от  $L$ .

С учетом выражений (1) и (3), учитывая следующее соотношение между  $P_{CO_2}$  и  $CO_2$

$$P_{CO_2} = k_3 (CO_{2,0} + k_2 L) \quad (4)$$

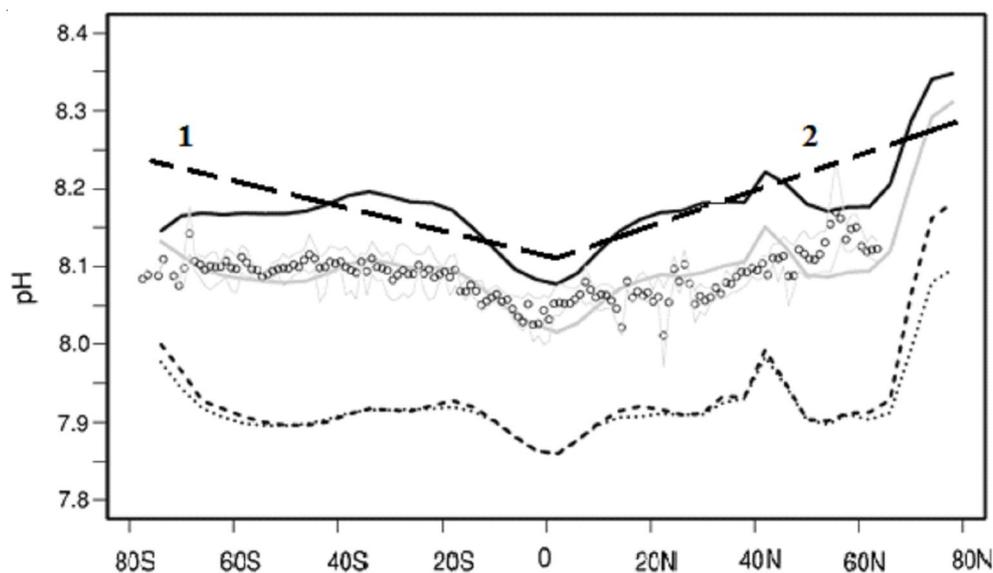


Рис. 1. Распределение значений рН поверхностных океанических вод по географической широте и по годам [6]. Жирная линия соответствует уровню 1880 г. Пунктирная линия соответствует прогнозируемому уровню 2100 г. Кружочки показывают усредненные за 1991–1998 гг. значения рН:

1 – тренд увеличения по южной широте; 2 – тренд увеличения по северной широте

где  $k_3 = \text{const}$ , получим

$$pH \approx 3,9 - \frac{1}{2} \log[k_3(CO_{2,0} + k_2L)] \quad (5)$$

Отметим, что выражения (2) и (5) показывают качественно разные зависимости рН от географической широты. При этом, выражение (2) в основном имеет экспериментальный характер, так как основывается на результатах измерений, изложенных в [6].

При этом, выражение (5) получен на основе модели, синтезированной на базе результатов, полученных в [5] и [7]. С учетом качественных различий происхождения выражений (2) и (5) можно предложить новый показатель – экспериментально-модельное значение  $pH_0$ , определяемое в качестве линейно-взвешенной суммы

$$pH_0 = \alpha_1 pH + \alpha_2 pH_0 \quad (6)$$

где  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ .

С учетом выражений (2), (5), (6) получим

$$pH_0 = \alpha_1 \left[ 3,9 - \frac{1}{2} \log[k_3(CO_{2,0} + k_2L)] \right] + \alpha_2 [pH_0 + k_1L] \quad (7)$$

Далее исследуем  $pH_0$  на экстремум от географической широты. Имеем:

$$\frac{d(pH_0)}{dL} = -\frac{\alpha_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{2 \cdot k_3(CO_{2,0} + k_2L)} + \alpha_2 k_1 \quad (7)$$

Приравнявая  $\frac{d(pH_0)}{dL}$  к нулю из (7) получим

$$L = \frac{\alpha_1}{2 \cdot \alpha_2 \cdot k_1} - \frac{CO_{2,0}}{k_2} \quad (8)$$

Таким образом, при географической широте, определяемой выражением (8)  $pH_0$  достигает экстремальной величины. Для определения типа экстремума вычислим знак  $\frac{d^2(pH_0)}{dL^2}$ . Имеем

$$\frac{d^2(pH_0)}{dL^2} = -\frac{\alpha_1 \cdot k_2^2}{2(CO_{2,0} + k_2L)^2} \quad (9)$$

Как видно из выражения (9),  $\frac{d^2(pH_0)}{dL^2}$  всегда положительна, то есть  $pH_0$ , определяемая

выражением (7) в точке, определяемой выражением (8) достигает минимума.

Для проверки теоретически полученного результата о наличии минимума в зависимости  $pH_0 = f(L)$  полезно проанализировать экспериментальные кривые, приведенные на рисунке 1. Как видно из кривых, приведенных на рисунке 1, здесь имеются по меньшей мере два минимума в области северной географической широты. Таким образом, можно заключить, что проведенное теоретико-модельное исследование позволяет пояснить наличие минимума в зависимости  $pH_0$  от географической широты.

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования.

1. Обзор соответствующей научно-технической литературы позволило обнаружить противоречие в качественной характеристике зависимости рН поверхностных океанических вод от географической широты.

2. В результате проведенного модельного исследования получена обратная нелинейная зависимость между рН и географической широтой.

3. В результате проведенного теоретико-модельного исследования показано наличие минимума в функциональной зависимости линейно-взвешенной суммы теоретических и полученной модельной величин  $pH$  от географической широты. Приведено экспериментальное подтверждение этого вывода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bates, N.R. Interannual variability of the oceanic  $CO_2$  sink in the subtropical gyre of the North Atlantic Ocean over the last 2 decades/ N.R. Bates // Journal of Geophysical Research. – 2007. – Vol. 112 (C09). – (doi:10.1029/2006JC003759)
2. Broecker, W. A dramatic Atlantic dissolution event at the last glaciations / W. Broecker, E. Clarke // Geochemistry Geophysics Geosystems. – 2001. – Vol. 2 (11). – (doi:10.1029/2001GC000185)
3. Feely, R.A. Acidification / R.A. Feely, S.C. Doney, S.R. Cooley // Oceanography. № 4. Vol. 22. 2009. p. 37–47.
4. Friedlingstein, P. Climate – carbon cycle feedback analysis: Results from the C<sup>4</sup>MIP model intercomparison. / P. Friedlingstein, P. Cox, R. Betts,

C. Jones, W. Von Bloh, V. Brovkin, P. Cadule, S. Doney, M. Eby, D. Matthews // *Journal of Climate*. – 2006. – Vol. 19. – pp. 3337–3353.

5. Lower, S.K. *Chem Environmental Chemistry. Carbonate equilibria in natural waters* / S.K. Lower – Simon Fraser University, 1999. – 26 p.

6. Mcneil, B.I. *Climate change feedbacks on future oceanic acidification* / B. I. Mcneil, R. J. Matear // *Tellus*. 2007. – 59B. – pp. 191–198.

7. Ruzmaikin, A. *Om the Relationship between Atmospheric Carbon Dioxide and Global Temperature* / A. Ruzmaikin, A. Byalko // *American Journal of Climate Change*. 2015. 4, pp. 181 – 186. – Published online June 2015 in SciRes. – <http://www.scrip.org/journal/ajcc> <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2015.43014>.

8. Sabine, C. L. *The oceanic sink for carbon dioxide* / C.L. Sabine, R. A. Feely, D. Reay, N. Hewitt, J. Grace, K. Smith // *Greenhouse Gas Sinks – Oxfordshire, UK: CABI Publishing*, 2007. – pp. 31-49.

#### REFERENCES

1. Bates N.R. *Interannual variability of the oceanic CO<sub>2</sub> sink in the subtropical gyre of the North Atlantic Ocean over the last 2 decades*, *Journal of*

*Geophysical Research*, 2007, Vol.112 (C09), (doi:10.1029/2006JC003759)

2. Broecker W., Clarke E. *A dramatic Atlantic dissolution event at the last glaciations*, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2001, Vol. 2(11), (doi:10.1029/2001GC000185).

3. Feely R.A., Doney S.C., Cooley S.R. *Acidification*, *Oceanography*, vol. 4, iss. 22, 2009, p. 37-47.

4. Friedlingstein P., Cox P., Betts R., Jones C., Von Bloh W., Brovkin V., Cadule P., Doney S., Eby M., Matthews D. *Climate – carbon cycle feedback analysis: Results from the C<sup>4</sup>MIP model intercomparison*, *Journal of Climate*, 2006, Vol. 19, pp. 3337–3353.

5. Lower S.K. *Chem Environmental Chemistry. Carbonate equilibria in natural waters*, Simon Fraser University, 1999, 26 p.

6. Mcneil B.I., Matear R. J. *Climate change feedbacks on future oceanic acidification*, *Tellus*, 2007, 59B, pp. 191–198.

7. Ruzmaikin A., Byalko A. *Om the Relationship between Atmospheric Carbon Dioxide and Global Temperature*, *American Journal of Climate Change*, 2015, vol. 4, pp. 181 – 186.

8. Sabine C.L., Feely R.A., Reay D., Hewitt N., Grace J. and Smith K. *The oceanic sink for carbon dioxide*, *Greenhouse Gas Sinks*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK, 2007, pp. 31-49.

#### Information about the Authors

**Hikmet Gamid ogly Asadov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head Department, Research Institute of Aerospace Informatics, National Aerospace Agency, S.S. Ahundova St., 1, AZ 1106 Baku, Azerbaijan, [asadzade@rambler.ru](mailto:asadzade@rambler.ru).

**Sima Azhdar gyzy Askerova**, Ph. D. Candidate, Senior Researcher, Institute of Ecology, National Aerospace Agency, S.S. Ahundova St., 1, AZ 1106 Baku, Azerbaijan, [asadzade@rambler.ru](mailto:asadzade@rambler.ru).

#### Информация об авторах

**Хикмет Гамид оглы Асадов**, доктор технических наук, профессор, начальник отделения НИИ Аэрокосмической информатики, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, 1, AZ 1106 г. Баку, Азербайджан, [asadzade@rambler.ru](mailto:asadzade@rambler.ru).

**Сима Аждар гызы Аскерова**, диссертант, старший научный сотрудник НИИ Экологии, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. С.С. Ахундова, 1, AZ 1106 г. Баку, Азербайджан, [asadzade@rambler.ru](mailto:asadzade@rambler.ru).