



ОЦЕНИВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО ТРЕНДА pH В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕННОСТИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.Б. Полонский, Е.А. Гребнева

Институт природно-технических систем,
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: apolonsky5@mail.ru, lenagrebneva12@gmail.com

Выполнена оценка климатического тренда pH в поверхностных водах открытой части Черного моря за период с 1977 по 2022 гг. Использовались архивные данные о величине pH за период 1977 по 1996 гг., хранящиеся в банке данных ИПТС, и результаты экспедиционных исследований, выполненных с 2019 по 2022 гг. Применялась разработанная авторами методика учета закономерностей пространственного распределения и внутригодового хода pH для расчета средней по акватории величины водородного показателя в условиях ограниченности данных наблюдений. Получено, что величина pH в поверхностном слое глубоководной части Черного моря снижалась за период с 1977 по 2022 гг. со средней скоростью около 0,024 ед. pH /10 лет. Таким образом, тенденция изменений величины pH в водах Черного моря близка к тенденциям, наблюдаемым в других регионах открытых частей Мирового океана, несколько превышая их среднее значение по абсолютной величине.

Ключевые слова: глубоководная часть Черного моря, поверхностный слой, величина pH, пространственно-временная неоднородность данных pH, климатический тренд pH.

Поступила в редакцию: 11.08.2023. После доработки: 14.09.2023.

Введение. Водородный показатель (величина pH) – один из важнейших интегральных характеристик, выражающих направленность биогеохимических процессов в морской среде. Тенденцию изменения величины pH, наряду с глобальным потеплением, признано считать одним из основных индикаторов изменения климата антропогенного происхождения. За период с 1950 по 2020 гг. средняя величина pH в поверхностных водах Мирового океана снизилась примерно с 8,15 до 8,05 (или около 0,014 ед. pH за 10 лет) [1]. Эта тенденция обусловлена увеличением концентрации CO₂ в приземном слое нижней тропосферы антропогенного происхождения [2–4]. Отчет, опубликованный в 2018 г. [5], констатирует трехкратное увеличение объема выбросов CO₂ в 2017 г. по сравнению с 1960 г. Опубликованные оценки показывают, что от 1/4 до 1/3 углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу в результате хозяйственной де-

ятельности, поглощаются в поверхностных водах океана. Это и приводит к уменьшению pH верхнего слоя вод [6, 7]. Имеются многочисленные свидетельства долговременного подкисления верхнего слоя вод различных частей Мирового океана и его окраинных морей. Так, например, по данным, приведенным в работе [8], в верхнем слое вод Тихого океана (между Гавайями и Аляской) количество ионов водорода с 1995 по 2010 гг. увеличилось на 6% (или около 4% за десятилетие). В водах Северной Атлантики с 1993 по 2017 гг. величина pH снижалась со скоростью 0,017 ед. pH за десятилетие [9]. Убыстряющееся повышение кислотности океанических вод, непосредственно вызванное антропогенным увеличением CO₂, является глобальной проблемой, так как оно оказывает негативное влияние на морские экосистемы. Многочисленные исследования доказали, что снижение pH приводит к уменьшению насыщения карбоната

[18], а данные экспедиционных исследований 2019–2022 гг. – это средняя величина рН по акватории экономической зоны РФ с глубинами, превышающими 1000 м, за период каждой конкретной съемки (табл. 1). Для дальнейшего анализа тренда осредненные данные поле-

вых исследований, приведенные в табл. 1, необходимо скорректировать введением поправок, учитывающих пространственно-временную неоднородность наблюдательной системы. Эти поправки вводились с использованием следующей двухступенчатой процедуры.

Таблица 1. Даты полевых исследований с 2019 по 2022 гг., количество выполненных станций с фиксацией рН и статистические характеристики величины рН, рассчитанные по каждой съемке

| Год / дата | Количество станций в глубоководной части Черного моря | Среднее значение поля (ед. рН) | СКО поля рН (ед. рН) |
|---------------------------|---|--------------------------------|----------------------|
| 2019 г. | | | |
| 18 апреля – 13 мая | 87 | 8,34 | 0,0526 |
| 04 – 23 октября | 41 | 8,35 | 0,0756 |
| 06 – 30 декабря | 49 | 8,31 | 0,0637 |
| 2020 г. | | | |
| 04 – 27 июня | 63 | 8,28 | 0,0798 |
| 15 сентября – 10 октября | 46 | 8,24 | 0,0718 |
| 27 ноября – 17 декабря | 27 | 8,28 | 0,0675 |
| 2021 г. | | | |
| 22 апреля – 15 мая | 65 | 8,37 | 0,0632 |
| 29 июня – 09 июля | 35 | 8,32 | 0,0832 |
| 30 июля – 09 августа | 25 | 8,36 | 0,0491 |
| 07 сентября – 25 сентября | 30 | 8,28 | 0,0721 |
| 2022 г. | | | |
| 20 апреля – 13 мая | 10 | 8,25 | 0,0508 |
| 07 – 30 июня | 12 | 8,27 | 0,0233 |
| 16 августа – 08 сентября | 16 | 8,33 | 0,0079 |
| 02 – 25 ноября | 21 | 8,39 | 0,0202 |
| 02 – 24 декабря | 18 | 8,40 | 0,0145 |

На первом шаге устранялась неточность осреднения несинхронных данных съемок, не учитывающего особенности сезонного хода величины рН. Для этого выполнялся следующий анализ данных рН, полученных для каждого отдельного месяца во всех экспедиционных исследованиях за период с 2019 по 2022 гг. (табл. 2), который будет описан на примере одной из экспедиций 2019 г. Она началась 18 апреля, а закончилась 13 мая. Следовательно, данные получены за 13 дней второй половины апреля и 13

дней первой половины мая. На рис. 3, а показано географическое положение станций с измерениями величины рН, выполненных с 18 по 30 апреля (красные точки) и с 01 по 13 мая 2019 г. (синие точки). Далее, методом пространственной интерполяции данных на основе локального полинома второй степени (подробности см. в работах [19, 20]) построены поля распределения рН (рис. 3, б) и по результатам интерполяции рассчитаны средние значения по каждому полю (см. первые две строчки в табл. 2).

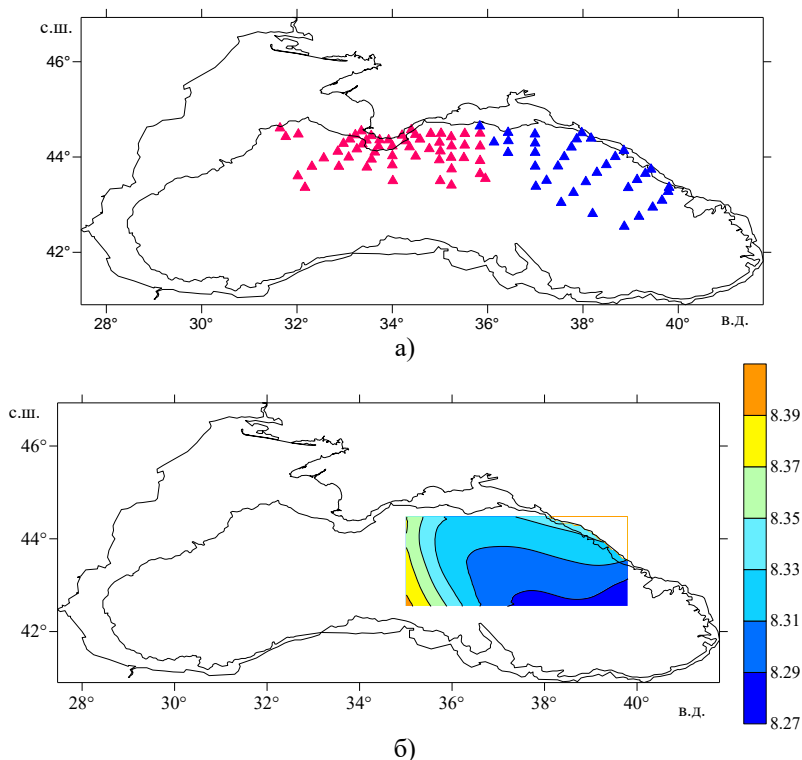


Рис. 3. Пространственное распределение станций с измерениями рН в ходе экспедиции с 18 апреля по 13 мая 2019 г. Красные точки – это станции, выполненные с 18 по 30 апреля 2019 г., синие точки – станции, выполненные за период с 01 по 13 мая – а), поле величины рН, полученное в ходе съемки с 01 по 13 мая – б)

Fig. 3. Spatial distribution of stations with pH measurements during the expedition from April 18 to May 13, 2019. Red dots are stations performed from April 18 to April 30, 2019, blue dots are stations performed during the period from May 1 to May 13 - a), the pH value field obtained during the survey from May 1 to May 13 - b)

Далее был выполнен расчет поправки на внутригодовую динамику величины рН в глубоководной части Черного моря с учетом полученных ранее в работе [15] результатов о климатическом сезонном ходе этой величины (рис. 4). Известно, что размах осредненной сезонной изменчивости величины рН в поверхностном слое открытой части Черного моря составляет 0,05 ед. рН и характеризуется двумя максимумами: весенним и осенним, которые достигаются в марте и октябре, а также летним минимумом (рис. 4). Следовательно, согласно типичному сезонному ходу рН, с 01 по 30 апреля наблюдается тенденция уменьшения значений средней величины рН (рис. 4). Так как 13 дней экспедиции в апреле приходятся на вторую половину месяца, то мы уточняем величину рН за первые 17 дней месяца, пользуясь выра-

жениями (1) и (2), приведенными ниже (в предположении о справедливости восстановленного ранее сезонного хода рН)

$$pH_s = \overline{pH} \pm k_1, \quad (1)$$

где \overline{pH} – среднее значение поля экспедиции конкретного месяца; k_1 – поправка на внутригодовую динамику рН, рассчитанная по формуле:

$$k_1 = \frac{|pH_i - pH_{i-1}|}{n} \alpha, \quad (2)$$

где pH_i – среднемесячное значение рН из сезонного хода [15]; pH_{i-1} – предыдущее среднемесячное значение рН из сезонного хода [15]; n – количество дней в месяце; α – количество дней месяца, в котором отсутствовали полевые исследования.

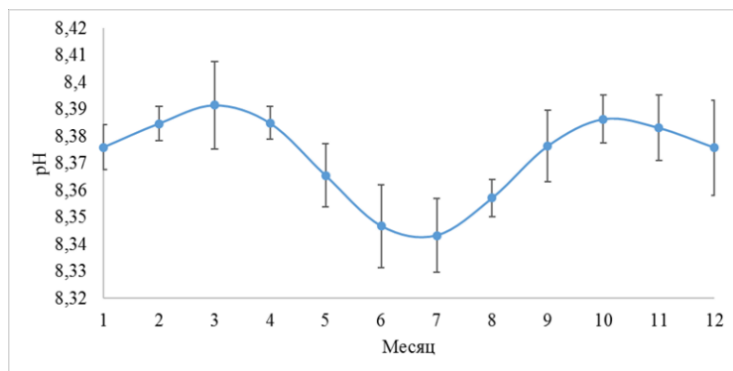


Рис. 4. Сезонный ход величины рН в глубоководной части Черного моря.

Вертикальные отрезки – среднеквадратическое отклонение среднегодового значения среднемесячной величины рН (по данным работы [15])

Fig. 4. Seasonal variation of the pH value in the deep part of the Black Sea. Vertical segments are the root-mean-square deviation of the long-term average value of the average monthly pH value (according to [15])

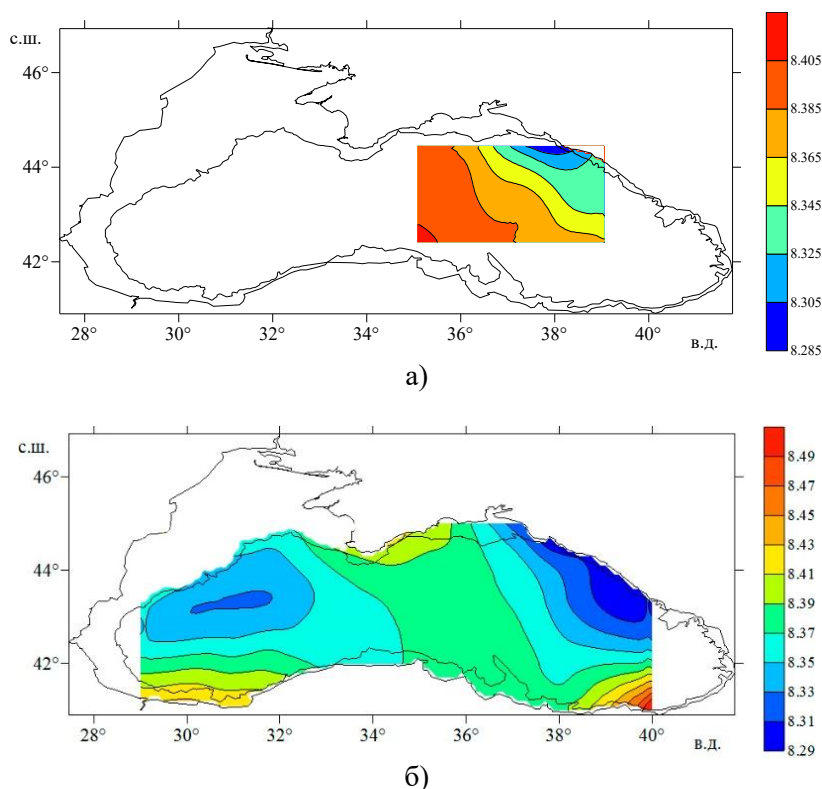


Рис. 5. Поля климатического распределения величины рН по архивным данным ИПТС за период с 1957 по 1996 гг. Климатическое пространственное распределение рН в мае на акватории, ограниченной координатами станций, выполненными в ходе экспедиции с 1 по 13 мая 2019 г. – а), поле климатического распределения величины рН в глубоководной части Чёрного моря в мае – июне – б)

Fig. 5. Fields of the climatic distribution of the pH value according to the IPTS archival data for the period from 1957 to 1996. The climatic spatial distribution of pH in May in the water area limited by the coordinates of the stations made during the expedition from May 1 to May 13, 2019 - a), the field of the climatic distribution of the pH value in the deep part of the Black Sea in May - June - b)

После этого получены оценки средних значений рН по климатическому среднемесячному полю района полевых исследований (\overline{pH}_m) и климатическому полю всей глубоководной части моря, усредненному за два месяца ($\overline{pH}_{M,N}$). Результат операции деления (\overline{pH}_m) на ($\overline{pH}_{M,N}$) позволяет получить поправочный коэффициент K_2

$$K_2 = \frac{\overline{pH}_m}{\overline{pH}_{M,N}}. \quad (3)$$

Затем полученные величины pH_s (см. выражение (1)) были скорректированы на коэффициент K_2

$$pH_{s,sp} = \frac{pH_s}{K_2}. \quad (4)$$

После корректировки данных экспедиционных исследований определялась вероятность того, что две выборки наблюдений (а именно, выборка архивных данных и данных экспедиционных исследований) являются частями одной генеральной совокупности. Статистический критерий U-критерий Манна-Уитни позволяет получить соответствующую оценку между двумя независимыми выборками по значению какого-либо признака, измеренного количественно [22]. По результатам теста получено, что на уровне значимости $p = 0,05$ различия между двумя этими выборками не явля-

ются статистически достоверными и носят случайный характер, а значит они относятся к одной генеральной совокупности. Таким образом, по имеющимся объединенным данным о величине рН с 1977 по 2022 гг. (историческим для XX-го века и экспедиционным для периода 2019–2022 гг.) правомочен расчет уравнения линейного тренда рН в открытой части Черного моря, что и было выполнено методом наименьших квадратов с использованием стандартного алгоритма. Уровень значимости тренда определялся по критерию Стьюдента [23, 24].

Результаты и их обсуждение. Как указано во введении, многочисленными исследованиями доказано, что подкисление (или снижение величины рН) является результатом сдвига кислотно-щелочного равновесия, вызванного увеличением концентрации CO_2 в поверхностных водах Мирового океана. Нами, естественно, этот результат был подтвержден для поверхностного слоя глубоководной части Черного моря. В результате получены статистические характеристики временного хода значений рН для периодов с 1977 по 1996 гг. и с 2019 по 2022 гг., представленные в табл. 3.

Таблица 3. Статистические характеристики величины рН для двух временных отрезков (с 1977 по 1996 гг. и с 2019 по 2022 гг.)

| Период, годы | Среднее значение, ед. рН | СКО |
|--------------|--------------------------|-------|
| 1977–1996 | 8,37 | 0,077 |
| 2019–2022 | 8,29 | 0,070 |

На рис. 6 представлен график проанализированного временного хода величины рН с 1977 по 2022 гг. и рассчитанный линейный тренд. Скорректированные данные наблюдений совместно с архивными материалами позволили уточнить скорость подкисления поверхностного слоя вод Черного моря. Это

увеличение проявляется в статистически значимом уменьшении величины рН, которое составляет около -0,11 ед. рН за 45 лет. Другими словами, средняя скорость подкисления поверхностного слоя вод Черного моря составляет в последние 45 лет около 0,024 ед. рН за десятилетие.

Таблица 4. Данные о тенденции изменения величины рН в Черном море

| Авторы | Анализируемый период, годы | Район исследования в Черном море | Данные о тенденции изменения или средних годовых значениях величины рН за различные периоды | Величина изменения рН анализируемого периода представлена за 10 лет, ед. рН/10 лет |
|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---|--|
| Полонский, 2012 г. | 1924–2000 | Черное море | от -0,1 до -0,5 ед. рН за 100 лет | -0,05 |
| Полонский, Гребнева, 2019 г. | 1956–2010 | Глубоководная часть моря | -0,06 ед. рН за 50 лет | -0,012 |
| Murat ELGE, 2021 г. | 1990–2014 | Северо-западная и северная части моря | В 1990 г. ~ 8,35 ед. рН, в 2014 г. ~ 8,44 ед. рН | +0,033 |
| | 1990–2004 | Северо-западная и северная части моря | Снижение на -0,07 ед. рН за весь период | -0,05 |
| | 2005–2014 | Северо-западная и северная части моря | Увеличение на 0,104 ед. рН за весь период | 0,115 |

*Жирным шрифтом выделен весь период исследования и оценка изменения средних величины рН (ед. рН/10 лет) в этот период

Из табл. 4 видно, что полученные разными авторами оценки долгопериодной тенденции изменения величины рН принципиально различаются между собой. При этом, авторы исследований выделяют отдельные десятилетия, которые характеризуются большей скоростью падения величины рН или наоборот положительной тенденцией (табл. 4) [13, 14].

В работе [13] получено, что величина рН в верхнем слое Черного моря снижалась между серединой 1980-х и 2000 гг. на -0,2 ед. рН за 10 лет, в то время как в период с начала 1970-х по середину 1980-х гг. величина рН в целом была высокой. В результате в 1970–2000-х гг. наблюдался значительный параболический тренд рН. Как указано в работе [13], причиной проанализированных десятилетних колебаний рН в поверхностных водах Черного моря является изменчивость интенсивности экмановской накачки, обусловленной региональными

последствиями процессов десятилетнего масштаба в системе океан–атмосфера. В результате в различные десятилетия происходит ослабление или усиление вертикальной циркуляции в подповерхностном и промежуточном слоях вод Черного моря, приводящие к вариациям скорости подъема вод с более низкими значениями рН (на горизонте 100 м они составляют <8,00 ед. рН). Этот результат подтверждается временным ходом вертикальной скорости Экмана, усредненной по всему бассейну. Усиление вертикальной скорости, связанное с изменением поля ветра на десятилетнем масштабе, действительно имело место в 1960-х гг. и между серединой 1980-х и серединой 1990-х гг. [13]. Следует добавить, что интенсивность циркуляции вод, обусловленная колебаниями касательного напряжения трения ветра, регулируется изменением циклонической активности в Атлантико-Европейском секторе (включая Черноморский регион),

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПТС по теме «Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды глобального и регионального масштабов (№ госрегистрации 121122300074-7); проведенные исследования были выполнены с использованием данных наблюдений, полученных в Центре коллективного пользования НИС «Профессор Водяницкий» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН».

Выражаем благодарность анонимному рецензенту за конструктивную и доброжелательную критику первого варианта работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Terhaar J., Frölicher T., Joos F. Ocean acidification in emission-driven temperature stabilization scenarios: the role of TCRE and non-CO₂ greenhouse gases // *Environmental Research Letters*. 2023. No 18. P. 24–33.
2. Gattuso J.-P., Hansson L. Ocean acidification: background and history // *Ocean Acidification*. Oxford University Press, Oxford, 2011. P. 1–20.
3. Gattuso J.-P., Magnan A., Billé R. et al. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios // *Science*. 2015. Vol. 349. P. aac4722.
4. 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. Vol. 6. No. 10. P. 2145–2153.
5. Quéré Le., Andrew C., Friedlingstein R.M. et al. Global Carbon Budget 2018 // *Earth System Science Data Discussions*. 2018. No. 10 (4). P. 2141–2194.
6. Okutan V. Connection between Ocean Acidification and Sound Propagation // *International Journal of Environment and Geoinformatics*. 2015. No. 2 (2), P. 16–26. doi.10.30897/ijegeo.303538
7. Gazioglu C., Okutan V. Underwater Noise Pollution at the Strait of Istanbul (Bosphorus) // *International Journal of Environment and Geoinformatics*. 2016. No. 3(3). P. 26–39. doi.10.30897/ijegeo.306478
8. <https://www.pmel.noaa.gov/co2/file/Hawaii+Carbon+Dioxide+Time-Series> (дата обращения: 22.03.2023).
9. Leseurre C., Monaco Cl. Lo, Reverdin G. et al. Ocean carbonate system variability in the North Atlantic Subpolar surface water (1993–2017) // *Biogeosciences*. 2020. No. 17. P. 2553–2577.
10. Orr J.C., Fabry V.J., Aumont O. et al. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms // *Nature*. 2005. Vol. 437. P. 681–686.
11. 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. Vol. 373. P. 265–273.
12. Ries J.B. Skeletal mineralogy in a high-CO₂ world // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2011. Vol. 403. P. 54–64.
13. Polonsky A. Had Been Observing the Acidification of the Black Sea Upper Layer in XX Century? // *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2012. Vol. 12. P. 391–396.
14. Elge M. Analysis of Black Sea Ocean Acidification // *International Journal of Environment and Geoinformatics*. 2021. No. 8 (4). P. 467–474.
15. Polonsky A.B., Grebneva E.A. The spatiotemporal variability of pH in waters of the Black Sea // *Doklady Earth Sciences*. 2019. No. 486 (2). P. 669–674.
16. Скопинцев Б.А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 336 с.
17. GIS Института природно-технических систем / В.В. Мельников, А.Б. Полонский, А.А. Котолупова [и др.] // *Системы контроля окружающей среды*. 2016. № 4 (24). С. 49–55.

18. Полонский А.Б., Гребнева Е.А. О межгодовой изменчивости величины pH в поверхностном слое глубоководной части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. 2022. № 2 (48). С. 12–21. DOI: 10.33075/2220-5861-2022-2-12-21
19. ГИС в морских исследованиях: мировой опыт и возможности его применения на примере Черноморского региона / А.М. Новикова, Е.С. Каширина, А.А. Новиков [и др.] // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. 2017. № 1 (3). С. 54–66.
20. Мальцев К.А., Мухарамова С.С. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): учебное пособие. Казань: Казанский университет, 2014. 103 с.
21. Рябинин А.И., Шibaева С.А. Инструментальные методы анализа в экологии: учебное пособие. Севастополь: СИЯЭиПю, 2022. 168 с.
22. Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other // *Annals of Mathematical Statistics*. 1947. № 18. P. 50–60.
23. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. 320 с.
24. Харьковская О.А., Соловьев А.Г. Статистические методы и математическое моделирование. Архангельск: СГМУ, 2017. 164 с.
25. www.seadatanet.maris2nl (дата обращения: 06.03.2023).
26. Полонский А.Б., Гребнева Е.А. Влияние Восточно-атлантического колебания на аномалии pH в верхнем слое открытой части Черного моря // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 1 (51). С. 13–24.
27. Богатова Ю.И. Гидрохимический режим украинского участка взморья Дуная // *Водные ресурсы*. 2013. Т. 40, № 3. С. 295–305.
28. Газетов Е.И., Мединец В.И. Исследование изменчивости основных физико-химических характеристик морских вод вблизи острова Змеиный в 2004-2013 гг. // *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2016. Т. 21. Вип. 2. С. 24–45.
29. Маккавеев П.Н., Полухин А.А., Степанова С.В. Работы по изучению приустьевых областей малых и средних рек в прибрежной зоне российского сектора Черного моря // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2013. № 27. С. 412–417.
30. Нестерова Д.А. Развитие перудмеи *Euxivella cordata* и явление «красного прилива» в северо-западной части Черного моря // *Биология моря*. 1979. Вып. 5. С. 24–29.

CLIMATE TREND ASSESSMENT OF pH VALUE IN THE SURFACE WATER OF THE OPEN PART OF THE BLACK SEA TAKING INTO ACCOUNT THE LIMITED OBSERVATIONAL DATA

A.B. Polonsky, E.A. Grebneva

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28
 E-mail: apolonsky5@mail.ru, lenagrebneva12@gmail.com

The climate trend of pH value in the surface waters of the open part of the Black Sea in the period from 1977 to 2022 is assessed. Archival data on pH values over the period 1977 -1996, stored in the IPTS data bank, and the results of expeditionary studies carried out in the period from 2019 to 2022 are used. The methodology developed by the authors for taking into account the patterns of spatial distribution and intra-annual variation of pH is used to calculate the mean of the hydrogen value over the water area under the conditions of limited observational data. It is found that the pH value in the surface layer of the deep-water part of the Black Sea decreased in the period from 1977 to 2022 at an average rate of about 0.024 pH units/10 years. Thus, the trend of changes in pH in the waters of the Black Sea is close to the trends

qdugt'xf'lp'qvj gt'tgi kqpu'qh'vj g'qr gp'r ctv'qh'vj g'Y qtrf'Qegcp.'urki j vř'gzeggf lpi 'vj gk'o gcp'qh'vj g'cduq/nwg'xcnwgU'

Keywords: f ggr /y cvgt'r ctv'qh'vj g'DrceniUgc.'uwt'ceg'nc {gt.'r J 'xcnwg.'ur cvkcn'cpf 'vgo r qtcn'lpj qo qi gpgk/vř'qh' J 'f'cv.'r J 'erko cvg't'gpf'0"

REFERENCES

30 Terhaar J., Frölicher T., and Joos F. "Qegcp'cekf hlec'vqp'lp'go kukqp/f tkxgp'vgo r gtcwt'g'uvcdk/rk' cvkqp'uegpctkqu<'vj g'tqrg'qh'VETG'cpf "ppp/EQ₄"i tggpj qvug"i cugu'Environmental Research Letters, 4245."Xqr03: .r r 0466550"

40 Gattuso J.-P. and Hansson L. "Qegcp'cekf hlec'vqp'<dceni tqwpf "cpf "j kvqt {0'Ocean Acidification. Oxford University Press, Oxford, 4233.'r r 036420"

50 Gattuso J.-P., Magnan A., Billé R., Cheung W. W. L., Howes E. L., Joos F., Allemand D., Bopp L., Cooley S. R., Eakin C. M., Hoegh-Guldberg O., Kelly R. P., Pörtner H.-O., Rogers A. D., Baxter J. M., Laffoley D., Osborn D., Rankovic A., Rochette J., Sumaila U. R., Treyer S., and Turley C. Eqpvt'cvkpi "hwwt'gu'ht'qegcp'cpf "uqelgvř' "t'qo "f'kht'g'p'cpvj tqr qi gple"EQ "go kukqpu'uegpctkqu'0'Science, "4237."Xqr056: .P q08465.'r r 0c669440"

60 Schulz K.G., Barcelos E., Ramos J., Zeebe R.E., and Riebesell U. "EQ₄'r gtwt'dcvkqp'g'zr g'kto g'p'w'ulo kctk'kgu'cpf "f'kht'g'pegu'd'gy ggp'f'kuq'x'g'f'lp'qti cple'ectdqp'cpf "v'cn'cm'ek'p'vř' "o cpl'w'cvk'qpu'0'Biogeosciences,"422; "Xqr08.'r r 04367643750"

70 Quéré Le.C., Andrew R.M., Friedlingstein P., Sitch S., Hauck J., Pongratz J., Pickers P.A., Korsbakken J.I., Peters G., Canadell J.G., et al. Ectdqp'Dwf i gv'423: 0'Earth System Science Data Discussions, 423: .P q032'*6+.'r r 04363643; 60"

80 Okutan V. "Eqpp'g'v'kqp'd'gy ggp'Qegcp'Ce'kf hlec'vqp'cpf "U'q'wpf "R'tqr ci cvkqp'0'International Journal of Environment and Geoinformatics, 4237.'P q04'*4+.'r r 0386480"

90 Gazioglu C. and Okutan V. "W'p'f'g'ty cvgt'P'q'lug'R'qm'w'kqp'cv'vj g'U't'ck'qh'K'v'cp'd'w'i'D'qur j q't'w'u'0'"International Journal of Environment and Geoinformatics,"4238.'P q05'*5+.'r r 04865; 0"

: 0j w'w'u'kly y i g'o g'p'q'cc'f' q'x'k'q'4' h'g'f' cy'ck' E'ct'd'q'p' - F'k'z'k'f'g' - V'lo'g'U'g't'lg'u'<'L'cp'w't' { "4; .4245+0"

; 0 Leseurre C., Monaco Cl. Lo, Reverdin G., Metz N., Fin J., Olafsdottir S., and Racapé V. "Qegcp'ectd'q'p'cv'g'u'v'go "x'ct'k'd'k'vř' "lp'vj g'P'q't'vj "C'v'p'v'k'U'w'd'r'q'r'ct' "u'w't'ceg'y' cvgt'"*3; ; 564239+0'Biogeosciences, 4242.'P q039.'r r 04775647990"

320 Orr J.C., Fabry V.J., Aumont O., Bopp L., Doney S.C., Feely R.A., Gnanadesikan A., Gruber N., Ishida A., Joos F., et al. C'p'vj' t'q'r' q'i' g'p'le'q'egcp'ce'kf hlec'vqp'q'x'g't'vj g'v'y' g'p'vř' /h'k'u'w'eg'p'w't' { "cpf "ku'ko' r'cev'q'p'" e'c're'k'f' l'p'i' "q't'i' c'p'k'uo' u'0'Nature."4227."Xqr0659.'r r 08: 368; 80"

330 Andersson A.J., Mackenzie F.T., and Bates N.R. "N'k'g'q'p'vj g'o' c't'i' l'p'<'ko' r' h'ec'v'q'pu'qh'q'egcp'ce'kf' k' h'ec'v'q'p'q'p' "O' i' /e'c're'k'g.'j' k'i' j' "n'v'w'f'g' "cpf "e'q'r'f' /y' cvgt'"o' c't'k'p'g' "e'c're'k'g't'u'0'Marine Ecology Progress Series, 422: .Xqr0595.'r r 048764950"

340 Ries J.B. "U'ng'g'v'cn'o' l'p'g't'c'q'i' { "lp'c'j' k'i' j' /EQ₄'y' q't'r'f' 0'Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,"4233."Xqr0625.'r r 0766860"

350 Polonsky A. "J' c'f' "D'gg'p'Q'd'ug't'x'k'p'i' 'vj' g'Ce'kf' h'ec'v'q'p'qh'vj' g'D'rceni'Ugc'W'r' r' g't'Nc' {gt'lp'ZZ'E'g'p'w't' {A Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,"4234."Xqr034.'r r 05; 365; 80"

360 Elge M. "C'p'cn'f'uku'qh'D'rceni'Ugc"Qegcp'Ce'kf' h'ec'v'q'p'0'International Journal of Environment and Geoinformatics,"4243.'P q0: '*6+.'r r 068966960"

370 Polonsky A.B. and Grebneva E.A. "Vj' g'ur' cvk'q'vgo' r'q't'cn'x'ct'k'd'k'vř' { "qh'r' J' "lp'y' cvgtu'qh'vj' g'D'rcem'Ugc'0'Doklady Earth Sciences."423; .P q06: 8'*4+.'r r 088; 68960"

380 Skopintsev B.A. "H'q'to' k'q'x'c'p'k'f'g' "u'q'x't'g'o' g'p'p'q'i' q' "n'j' ko' l'ej' g'un'q'i' q' "u'q'u'v'x'c' "x'q'f' { "E'j' g't'p'q'i' q' "o' q't' { c' *H'q'to' cvk'q'p'qh'vj' g'o' q'f' g't'p' "e'j' go' k'c'n' "e'q'o' r' q'u'k'k'q'p'qh'vj' g'D'rceni'Ugc' "y' cvgt'+ Leningrad<'I' k'f' t'q'o' g'v'g'k' f'cv' "3; 97."558'r 0"

390 Mel'nikov V.V., Polonskiy A.B., Kotolupova A.A., Grebneva E.A., Mel'nik L.A., and Biryukova M.A. "I' K'U'K'p'k'w'w'c' "r' t'k'q'f' p'q' /v'g'n'j' p'le'j' g'un'k'n'j' "u'v'go' " *I' K'U' "qh'vj' g' "K'p'k'w'w'g'qh' "P' c'w't'c'n' /c'p'f' "V'ge'j' p'le'c'n' U' { u' v'go' u'0'Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy, 4238.'P q06'*46+.'r r 06; 6770"

3: 0 Polonskiy A.B. and Grebneva E.A. "Q" o' g'j' i' q'f' q'x'q'f' { "k' o' g'pe'j' k'x'q'u'k' "x'g'r'le'j' l'p' { "t'j' "x" r' q'x'g't'n'j' / p'q'u'p'q'o' "u'q' { "g' "i' n'v'd'q'n'q'x'q'f' p'q' { "e'j' c'u'k' "E'j' g't'p'q'i' q' "o' q't' { c' *Q'p'vj' g' "l'p'v'g't'c'p'p'w'c'n'x'ct'k'd'k'vř' { "qh'vj' g'r' J' "xcnwg'lp' "vj' g' "u'w't'ceg' "nc' {gt' "qh'vj' g' "f' g'g'r' /y' cvgt' "r' ctv'qh'vj' g' "D'rceni'Ugc' +0'Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy, 42440P q04'*6: +.'r r 0346430"

3; 0 Novikova A.M., Kashirina Ye.C., Novikov A.A., Polonskiy A.B., and Pankeyeva T.V. I K'x"o qt/ unknj "kuurf qxcpkf cni <o kqxq { "qr {v'k'xq| o q| j pquk { gi q"r tko gpgpkf c"pc"r tko gtg"Ej gtpqo qtunqi q"tg/ i kqpc"i K'lp"o ctkg'tgugctej <y qtrf "gzt gtlgpeg"cpf "r quakdkkku'qh'ku"cr r nek'vqp"qp"vj g'gzco r ng'qh'vj g" DrceniUgc'tgi kqp+"Rtqeggf kpi u'qh'vj g'Mctcf ci "Uelgpegu"Uc'vqp0V00X{c| go unq "o'pcwctn'tgugtxg'qh'vj g" Twuukp"Cecf go { "qh'Uelgpegu."4239."P q03"*5+."r r 0766880

420 Mal'tsev K.A. and Mukharamova S.S."Rqutq { gpkf g"o qf grg { "r tqutcpuxgpp { nj "r gtgo gpp { nj "u r tko gpgpkf go "r cngv"Uwtgt+"*Dwrf kpi "o qf gni'qh'ur cvkri'xctkcdngu"*vukpi "vj g"Uwtgt"r cenci g++."Mcl cp< Mc| cpunkf "wplxgtukgv."4236."325"r 0'

430 Ryabinin A.I. and Shibayeva S.A. K'pntwo gpvcn { { g"o gvqf { "cpcrkf c"x"gnmji k' "K'pntwo gpvcn o gj qf u'qh'cpcnf uku'lp"geqni { + "Ugxcuqr qn<UK CGR { w"4244."38: "r 0'

440 Mann H. B. and Whitney D. R. "Qp" c'vqu'qh'y j gj q' gpg'qh'vj q'tcpf qo 'xctkcdngu'ku'uvqej cvkcmf rcti gt"vj cp"vj g'qvj gt0"Annals of Mathematical Statistics,"3; 69."P q03: ."r r 0726820'

450 Afanas'yev V.N. and Yuzbashev M.M. Cpcrkf "xtgo gpp { nj "t { cf qx"kr tqi pq| kqxcpkf g"*vlo g"ug/ tku'cpcnf uku'cpf "hqtgecvkpi + "O queqy <"P HT C/O."4232."542"r 0'

460 Kharkov O.A. and Soloviev A.G."Uc'vklej gunkf g"o gvqf { "k"o cvgo cvlej gunq { g"o qf grkqxcpkf g *Uc'vklecno gj qf u'cpf "o cvj go cvkcnb qf grkpi + "Ctnj cpi gnm"UI O W."4239."386"r 0'

470 y y Ugcfcvcpvob ctu4pni"O ctej "23."4245+0

480 Polonskiy A.B. and Grebneva E.A."Xrkf cpkf g"Xquvqej pq/cvcpvlej gunqi q"nqrgdcpkf c"pc"cpqo crk r J "x" xgtnj pgo "unq { g" qvnt { vq { "ej cvk'Ej gtpqi q"o qt { c"*Ghge"v'qh'vj g" Gcu" C'vcpvle" Queknc'vqp"qp"r J " Cpqo crkgu"lp"vj g"Wr r gt"Ne { gt"qh'vj g"Qr gp"Rctv'qh'vj g"DrceniUgc+0" Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy,"4245."P q03"*73+."r r 0356460'

490 Bogatova Yu.I. "I kf tqnj ko lej gunkf "tg| j ko "wntckpunqi q"vej cvne"x| o qt) { c" F wpc { c"*J { f tqej go k' ecn'tgi ko g'qh'vj g"Wntckp'kcp'ugev'qp"qh'vj g" F cpwdg'eqcuv+0Vodnyye resursy,"4235."Xqr062."P q05."r r 04; 76 5270'

4; 0 Gazetov E.I. and Medinets V.I."Kuurf qxcpkf g" k' o gpej kxquk' qupqxp { nj "Hk knq/nj ko lej gunkj nj ctcmtg'kukno qtunkj "xqf "xdrk' k'quqxc" \ o glp { { "x"4226/4235"i i 0*Uwf { "qh'vj g"xctkcdk'k' "qh'vj g"o clp" r j { ukecn'cpf "ej go kecn'ej ctcevt'kueu'qh'ugc'y cvgtu'pgct" \ o glp { "K'rcpf "lp"4226/4235+0Visnyk ONU. Ser.: Heohrafichni ta heolohichni nauky, 4238."Xqr043."P q04."r r 0466670"

4; 0 Makkaveyev P.N., Polukhin A.A., and Stepanova S.V."Tcdqv { "r q" k' vej gpkf w'r tkwv) { gx { nj "qd/ ruzg { "o cni nj "k'utgf plnj "tgm'x"r tkdtg| j pq { " | ppg"tquukf unqi q"ugmqtc"Ej gtpqi q"o qt { c"*Y qtmu"qp"vj g" uwf { "qh'vj g"o qwj "ctgcu'qh'uo cm'cpf "o gf kwo /ukf gf "tkxgtu'lp"vj g'eqcuvn' ppg'qh'vj g" Twuukp'ugev't'qh'vj g" DrceniUgc+0'Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoye ispol'zovaniye resursov shel'fa, 4235."P q049."r r 063466390"

520 Nesterova D.A. "Tc| xkkf g"pgr wf o gw'Gzwxlgmc"eqtf cvc" k' { cxrgpkf g"\$ntcupqi q"r tkkxc"\$x"ugxgtq/ | cr cf pq { "ej cvk'Ej gtpqi q"o qt { c"*F gxgnr o gpv'qh'pgr wf o gw'Gzwxlgmc"eqtf cvc"cpf "vj g"Stgf "kf gS"r j g/ pqo gpqp"lp"vj g'pqt'vj y guvtp'r ctv'qh'vj g"DrceniUgc+0"Biologiya morya,"3; 9; ."P q07."r r 04664; 0'