

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА

А. М. Селиверстова<sup>1</sup>, О. А. Зуев<sup>1</sup>, А. Л. Чульцова<sup>1</sup>, А. А. Полухин<sup>1</sup>,  
А. В. Масевич<sup>2</sup>, Е. Г. Морозов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,  
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36;*  
<sup>2</sup>*Морской гидрофизический институт РАН,  
Россия, 299011, Севастополь, Капитанская улица, д. 2,  
e-mail: 201219941315ann@gmail.com*

Работа посвящена современному распределению гидрохимических параметров в поверхностном слое вод тропических широт Атлантического океана. Материалы были собраны по итогам двух экспедиций на НИС «Академик Мстислав Келдыш» – АМК 79 (2019–2020 гг.) и АМК 87 (2021–2022 гг.). Рассмотрено четыре меридиональных трансатлантических разреза. Подробно описаны гидрохимические характеристики районов Канарского апвеллинга, зоны выноса аэрозолей из пустынных областей Африки, области влияния речного стока залива Рио-де-ла-Плата.

**Ключевые слова:** гидрохимия, биогенные элементы, Атлантический океан, Канарский апвеллинг, Рио-де-ла-Плата

### Введение

Отличительными особенностями Атлантического океана, формирующими его современный облик, являются: высокая средняя соленость (35.4), наличие нескольких стационарных апвеллингов (Канарский, Бенгельский, Гвинейский), влияние пустынных и полупустынных районов Африки, сток крупнейших рек Южной Америки (Амазонка, Парана, Ориноко). Основная цель настоящего исследования – оценка современного состояния абиотических характеристик и пространственно-временной изменчивости основных гидрохимических параметров в поверхностном слое вод Атлантического океана от северного до южного субтропического пояса (Селиверстова, Полухин, Чульцова, 2021).

Гидрохимический состав вод Атлантического океана хорошо изучен локально – представлено много современных работ по исследованиям области Канарского апвеллинга (Сирота, 2003; Сапожников и др., 2007; Духова, 2010; Духова, Сапожников, 2014), района влияния Африки (Клювиткин и др., 2004; Jickells, 2005; Клювиткин, 2008) и стока рек Южной Америки (Carriro, 1965; Лаппо и др., 2005; Nagy et al., 2008; Исупова, Михайлов, 2018; Исупова, 2021), а также

обмена углекислым газом на границе океан–атмосфера (Доманов, Чведоржевска, Ракуша-Сущевский, 2005), однако более глобальное описание вод Атлантики относится только к 60–70 гг. прошлого века (Степанов, 1974; Булатов, Бараш, Иваненков, 1977; Бордовский, Иваненков, 1979). В условиях динамично меняющегося климата необходимо комплексно подходить к изучению пространственно-временной изменчивости гидрохимических параметров, влияющих на всю экосистему Мирового океана. Ввиду низких концентраций биогенных элементов, а следовательно и продукционных характеристик, практически на всей открытой акватории Атлантического океана, за исключением некоторых прибрежных регионов, важно иметь представление о современном состоянии экосистемы для прогноза ее изменений в будущем.

### Материалы и методы

Основными материалами для исследования абиотических характеристик поверхностного слоя вод Атлантического океана послужили результаты двух экспедиций на НИС «Академик Мстислав Келдыш» – 79-й и 87-й рейсы, состоявшиеся с декабря по апрель 2019–2020 и 2021–2022 гг. по программе «Оценка современного состояния природных комплексов Атлантического сектора Южного океана и их разнопериодной изменчивости (экосистемы, биопродуктивность, гидрофизика, гидро- и геохимия)» (Морозов и др., 2020; Морозов, 2022).

Гидрохимические исследования поверхностного слоя на трансатлантических разрезах велись с 13.12.2019 г. (от 33° с. ш. 13° в. д.) по 05.01.2020 г. (до 33° ю. ш. 49° в. д.) и с 24.03.2020 г. (от 34° ю. ш. 53° з. д.) по 24.04.2020 г. (до 25° с. ш. 19° з. д.), а также в период с 17.12.2021 по 11.01.2022 (от 40° с. ш. 17° з. д. до 37° ю. ш. 42° з. д.) и с 24.02.2022 по 26.03.2022 (от 40° ю. ш. 53° з. д. до 40° с. ш. 17° з. д.). Для удобства в настоящей работе данные разрезы названы «Первый», «Второй», «Третий» и «Четвертый» соответственно (рисунок 1).

Поверхностные пробы воды для измерения гидрохимических параметров отбирались из проточного комплекса, установленного на судне (глубина отбора – 6 м), каждые шесть часов в ходе гидрологических станций пятилитровыми пластиковыми батометрами комплекса ROSETTE, а также (при работе на третьем и четвертом разрезах) каждые три часа в предполагаемой зоне круглогодичного Канарского апвеллинга. Отбор проб и определение гидрохимических параметров проводилось по стандартным методикам, принятым в морской химии (Бордовский, Чернякова, 1992). Во время работ в 2019–2020 гг. велось определение таких параметров, как pH, общая титруемая щелочность (Ta), растворенный кремний (Si), минеральный фосфор (PO<sub>4</sub>) и нитритный азот (NO<sub>2</sub>), а в 2021–2022 гг. к этому перечню добавилось определение растворенного кислорода (O<sub>2</sub>) и нитратного азота (NO<sub>3</sub>). Диапазон изменений гидрохимических параметров, а также количество выполненных станций, приведены в таблице 1.

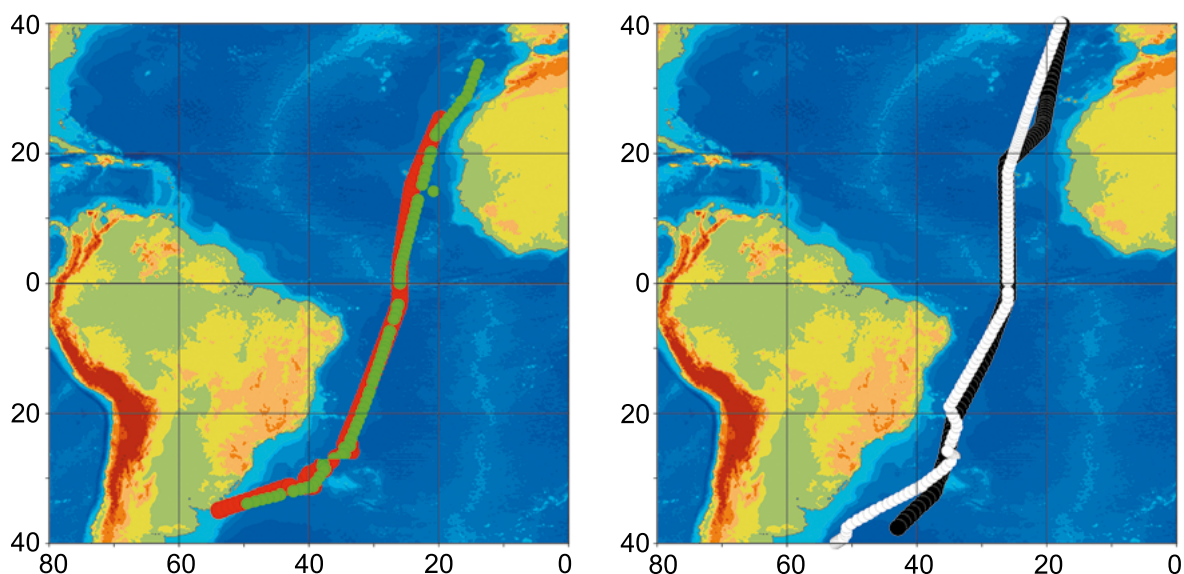


Рис. 1 – Карта-схема расположения точек отбора проб из поверхностного слоя вод во время работ на первом разрезе (зеленым), втором (красным), третьем (черным) и четвертом (белым)

Таблица 1 – Диапазон измерений гидрохимических параметров

Параметры	Разрезы			
	Первый	Второй	Третий	Четвертый
$T, ^\circ\text{C}$	19.12–29.16	21.60–29.92	17.17–28.49	14.98–28.99
$S$	35.15–37.48	30.17–37.48	34.81–37.14	33.82–37.33
$\text{O}_2, \text{мл/л}$	–	–	4.46–5.42	4.42–5.85
$\text{pH, NBS}$	7.92–8.07	7.99–8.12	8.11–8.18	8.04–8.16
$\text{Ca}, \mu\text{M}$	2385–2584	1981–2313	2390–2554	2351–2544
$\text{Si}, \mu\text{M}$	0.32–2.20	0–9.94	0.26–1.14	0.15–1.35
$\text{PO}_4, \mu\text{M}$	0–0.27	0–0.53	0–0.24	0–0.61
$\text{NO}_3, \mu\text{M}$	–	–	0.02–2.73	0–1.37
$\text{NO}_2, \mu\text{M}$	0–0.31	–	0–0.10	0–0.20
<b>Всего проб</b>	<b>89</b>	<b>125</b>	<b>109</b>	<b>136</b>

### Результаты и обсуждение

В целом, поверхностное распределение гидрофизических и гидрохимических параметров на трансатлантических разрезах соответствует литературным данным, принимая во внимания широтные и сезонные особенности данного региона (Булатов, Бараш, Иваненков, 1977).

Значения температуры, полученные нами в ходе работ, в Северном полушарии понижены за счет зимнего охлаждения, эффект которого максимально проявляется ранней бореальной весной. Поверхность Южного полушария только начинает охлаждаться в марте, температуры 22–25 °C типичны для данного периода (рисунок 2).

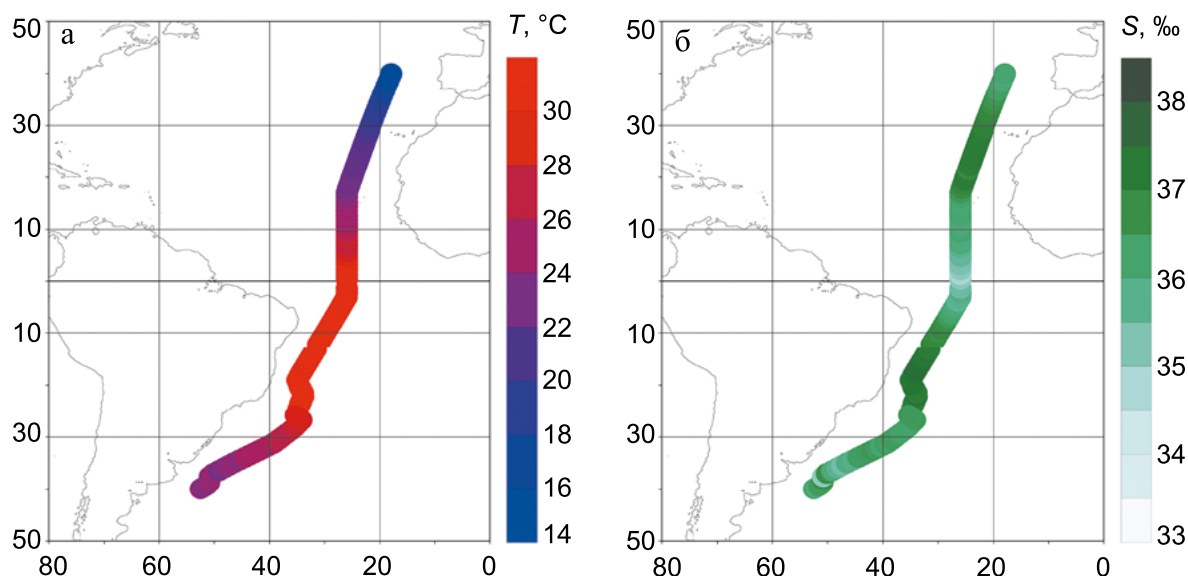


Рис. 2 – Распределение температуры (а) и солёности (б) в поверхностном слое Атлантического океана на четвертом разрезе

Повышение солёности до 37 наблюдается в тропических широтах в связи с интенсивным испарением, при этом присутствует незначительная асимметрия относительно географического экватора по причине смещения на несколько градусов севернее экватора метеорологического (Дубравин, Навроцкая, 2007). Также отчетливо видны зоны пониженной, до 34, солёности: район экватора с большим количеством осадков и субтропические районы.

В субэкваториальном климатическом поясе рН, Та и O<sub>2</sub> заметно понижены относительно средноклиматических значений (8.1 NBS, 2400 µM, 5 мл/л соответственно), а с продвижением к тропическим поясам увеличиваются до 8.2 NBS, 2500 µM и 6 мл/л (рисунок 3).

Биогенные элементы в поверхностном слое Атлантического океана имели низкие значения (средние величины приведены в таблице 2), однако мы хотим подробнее остановиться на трех областях, отличающихся от средних показателей за счет уникальности своего расположения.

Таблица 2 – Средние значения гидрохимических параметров

Параметры, среднее	Разрезы			
	Первый	Второй	Третий	Четвертый
Кремний, µM	0.86	0.70	0.67	0.71
Фосфор, µM	0.05	0.04	0.05	0.05
Нитраты, µM	–	–	0.16	0.05
Нитриты, µM	0.01	–	0	0.02

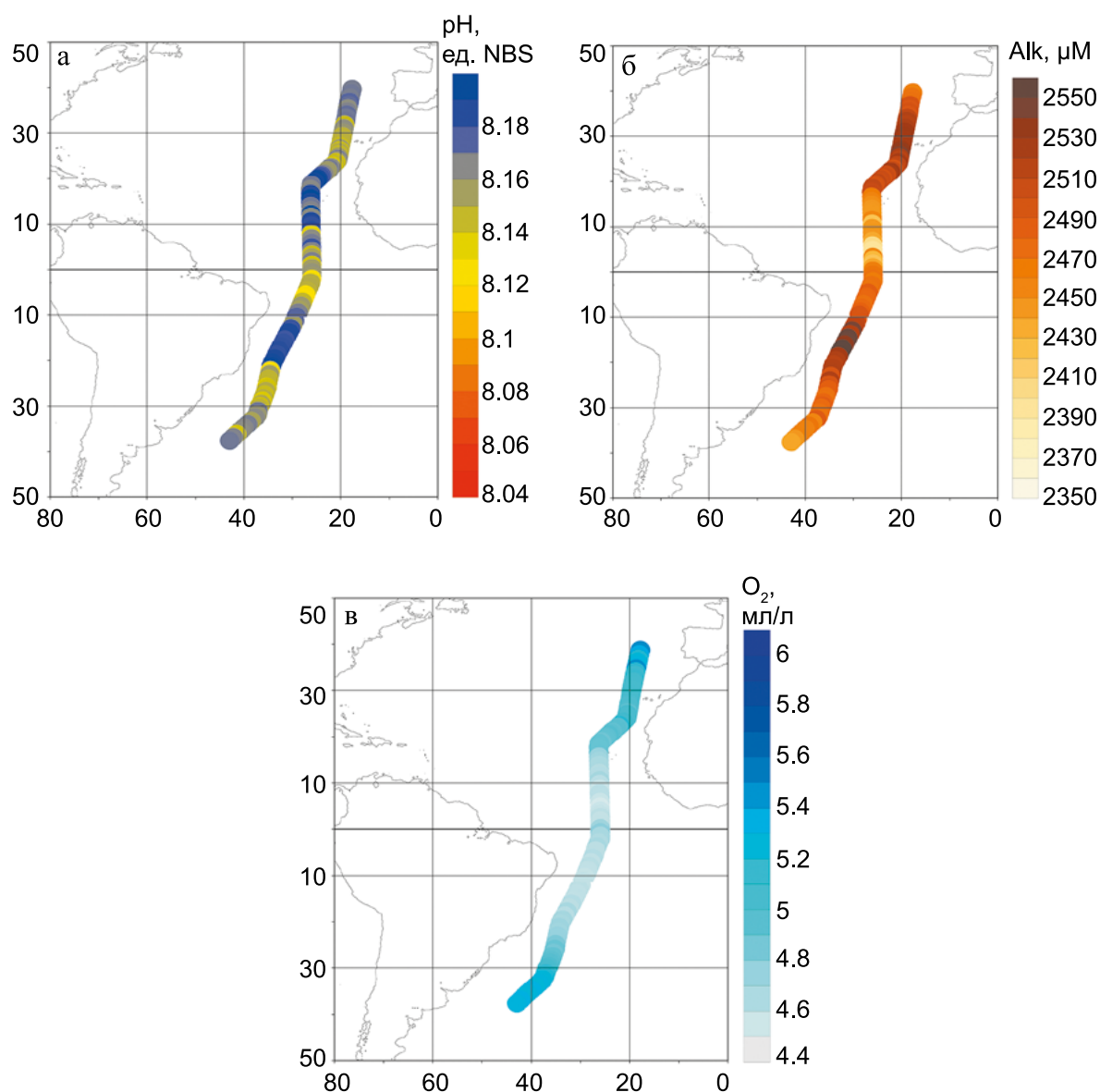


Рис. 3 – Распределение водородного показателя (а), величины общей титруемой щелочности (б) и растворенного кислорода (в) в поверхностном слое Атлантического океана на третьем разрезе

Во время работ на первом, втором и третьем разрезах в районе 20–23° с. ш. было отмечено снижение pH с 8.00 NBS до величин 7.93 NBS (первый разрез), с 8.10 NBS до 8.00 NBS (второй) и с 8.18 NBS до 8.13 NBS (третий). Величина общей титруемой щелочности увеличивалась с 2386  $\mu\text{M}$  до 2485  $\mu\text{M}$  (первый разрез), с 2215  $\mu\text{M}$  до 2268  $\mu\text{M}$  (второй) и с 2492  $\mu\text{M}$  до 2524  $\mu\text{M}$  (третий). Содержание растворенного фосфора, нитратов и нитритов увеличивалось от аналитического нуля до, в среднем, 0.16–0.24  $\mu\text{M}$ , 0.10–0.31  $\mu\text{M}$  и 2.74  $\mu\text{M}$  соответственно (рисунок 4а–д).

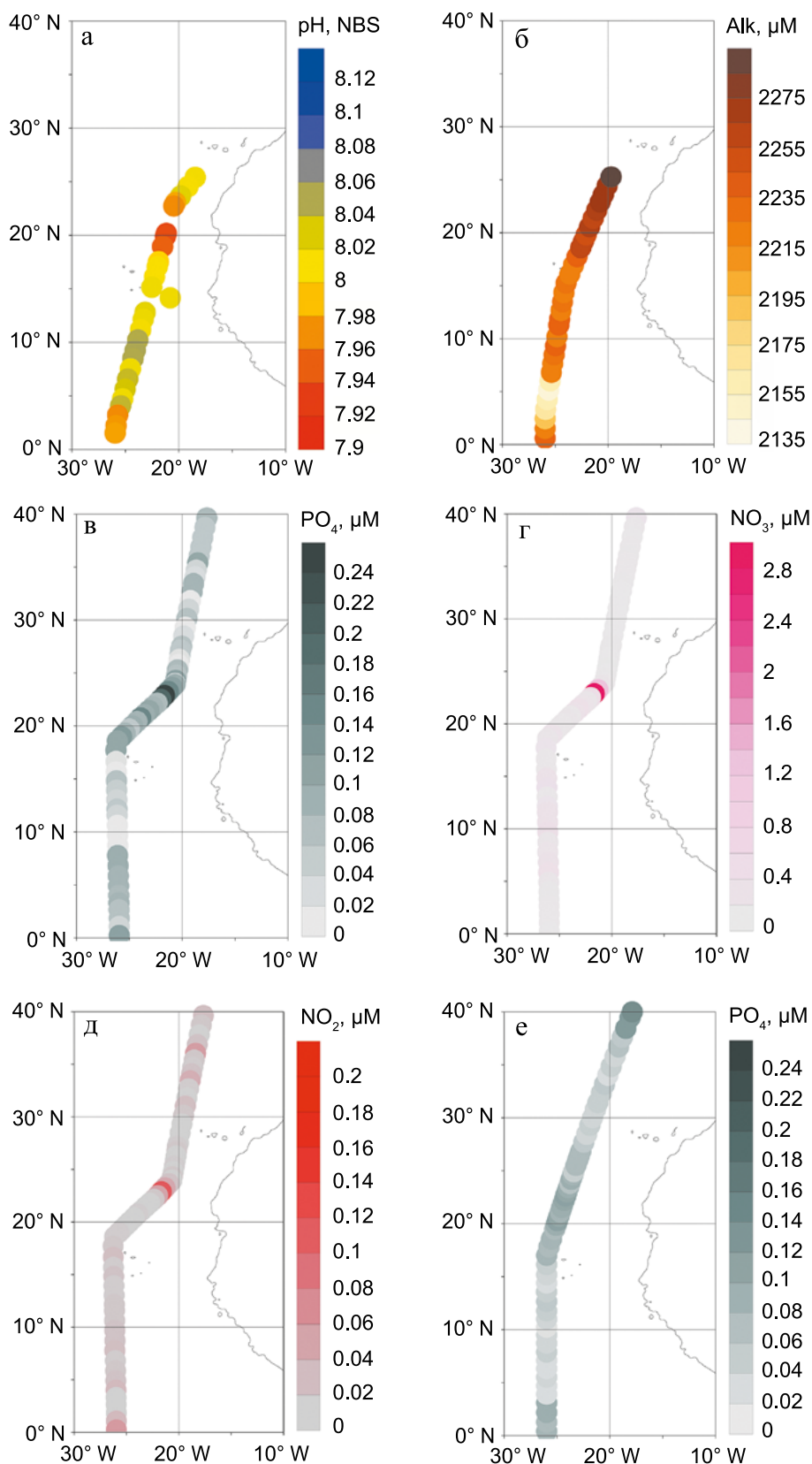


Рис. 4 – Распределение величины pH (а, первый разрез), общей титруемой щелочности (б, второй разрез), растворенного фосфора (в, третий разрез; е, четвертый разрез), нитратного (г, третий разрез) и нитритного азота (д, третий разрез) в поверхностном слое вод в районе Канарского апвеллинга

Согласно делению Канарского апвеллинга по термическому индексу на зоны с различной интенсивностью, а также в связи со смещением поверхностных и центральных водных масс северного и южного происхождения (Сирота, 2003), район 20–23° с. ш. приурочен к зоне с круглогодичным интенсивным апвеллингом, с максимальными величинами в апреле–июне и октябре–декабре, что и объясняет схожесть распределения параметров, несмотря на разницу в несколько месяцев между съемками (Духова, 2010).

Стоит отметить, что первый, второй и третий разрезы в данном районе проходили по 21° з. д., а четвертый – по 24° з. д., в последнем случае изменений гидрохимических параметров, свидетельствующих о присутствии апвеллинга, нами не обнаружено (рисунок 4е).

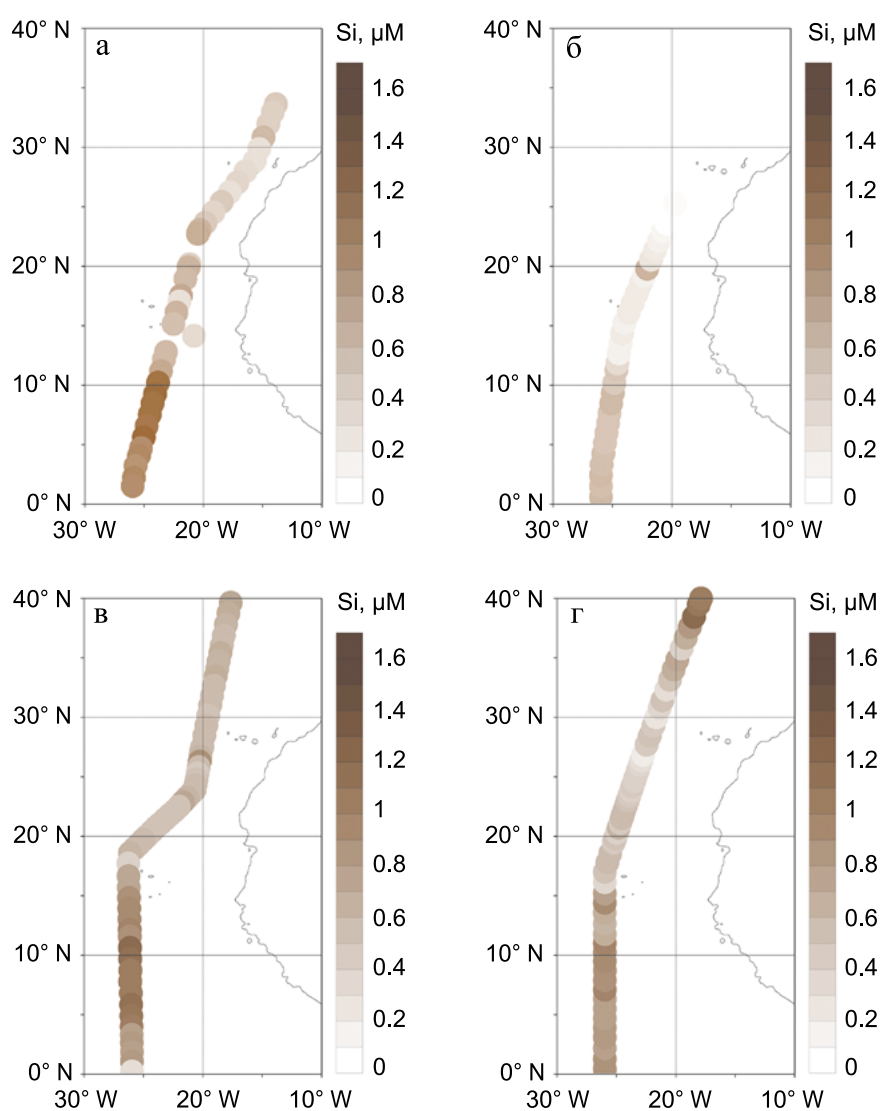


Рис. 5 – Распределение растворенного кремния в поверхностном слое вод в районе Канарского апвеллинга на разрезах: первом (а); втором (б); третьем (в); четвертом (г)

В области между  $10^\circ$  и  $5^\circ$  с. ш. на всех разрезах наблюдалось повышение растворенного кремния, обусловленное выносом аэрозолей из пустынных и полупустынных районов Африки северо-восточными пассатами (Клювиткин и др., 2004; Jickells et al., 2005). На первом, третьем и четвертом разрезах в этом районе величина растворенного кремния увеличивается с минимальных значений до  $1\text{--}1.6 \mu\text{M}$ . На втором разрезе в той же области количество силикатов возрастает всего до  $0.6\text{--}0.8 \mu\text{M}$ , что связано, вероятно, с изменениями направления и силы ветров (рисунок 5).

В декабре 2019 – январе 2020 гг., начиная от  $30^\circ$  ю. ш.  $40^\circ$  з. д. и с приближением к заливу Рио-де-ла-Плата, наблюдается резкое повышение величины рН до 8 NBS, снижение значений общей титруемой щелочности до  $2448\text{--}2408 \mu\text{M}$  (рисунок 6), колебания растворенного фосфора от  $0.04$  до  $0.09 \mu\text{M}$  и кремния в пределах  $0.64\text{--}1.61 \mu\text{M}$ . Несмотря на значительную удаленность от залива (около  $1700$  км), это может быть связано с влиянием реки Уругвай, максимальный сток которой приходится на сентябрь (Лаппо и др., 2005).

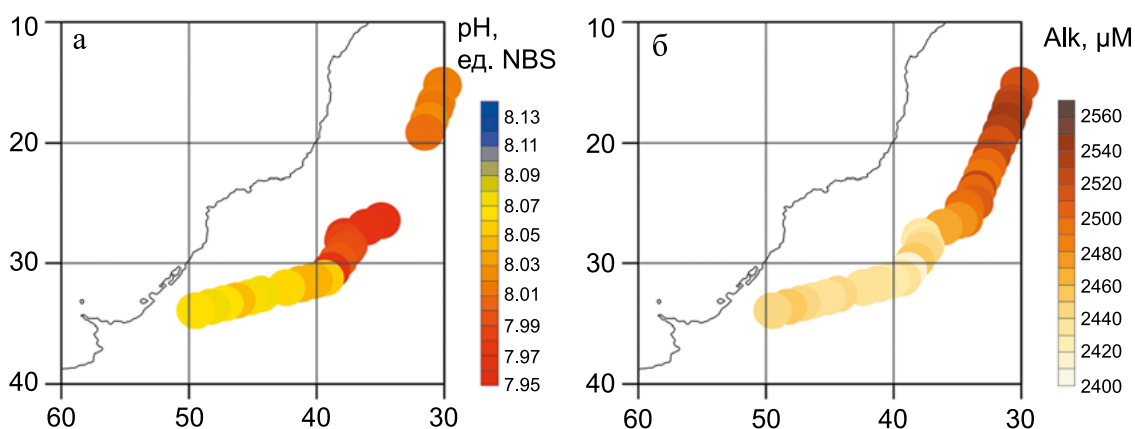


Рис. 6 – Распределение величины рН (а) и общей титруемой щелочности (б) в поверхностном слое вод в районе залива Рио-де-ла-Плата на первом разрезе

В апреле 2020 г. подобные изменения распространяются от залива и только до  $34^\circ$  ю. ш.  $53^\circ$  з. д., но проявляются гораздо отчетливее: рН – 8.00 NBS, общая титруемая щелочность –  $1981\text{--}2259 \mu\text{M}$ , растворенный фосфор –  $0.13\text{--}0.53 \mu\text{M}$ , кремний –  $4.54\text{--}9.94 \mu\text{M}$  (рисунок 7). Это связано с гидрологическим режимом реки Парана, чей наибольший сток приходится на март–июнь (Саринго, 1965).

Работы на третьем разрезе велись на значительном удалении от залива Рио-де-ла-Плата, а на четвертом – близко к заливу, но в феврале 2022 г., что несколько раньше сезона максимального стока р. Парана, ввиду чего зафиксировать влияние речного стока на этих разрезах не удалось – содержание биогенных элементов в этом районе было близко к нулю, а распределение величины рН и общей титруемой щелочности подчинялось широтным законам (рисунок 8).



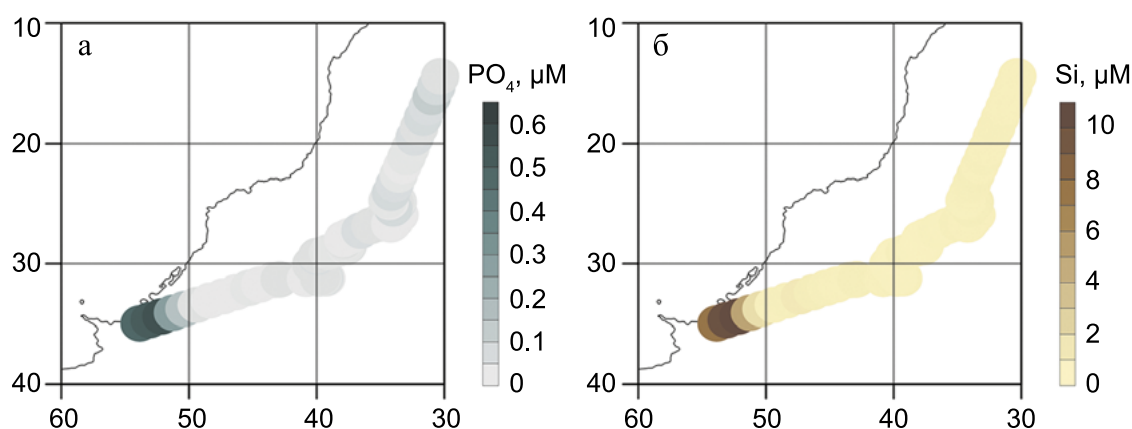


Рис. 7 – Распределение растворенного фосфора (а) и кремния (б) в поверхностном слое вод в районе залива Рио-де-ла-Плата на втором разрезе

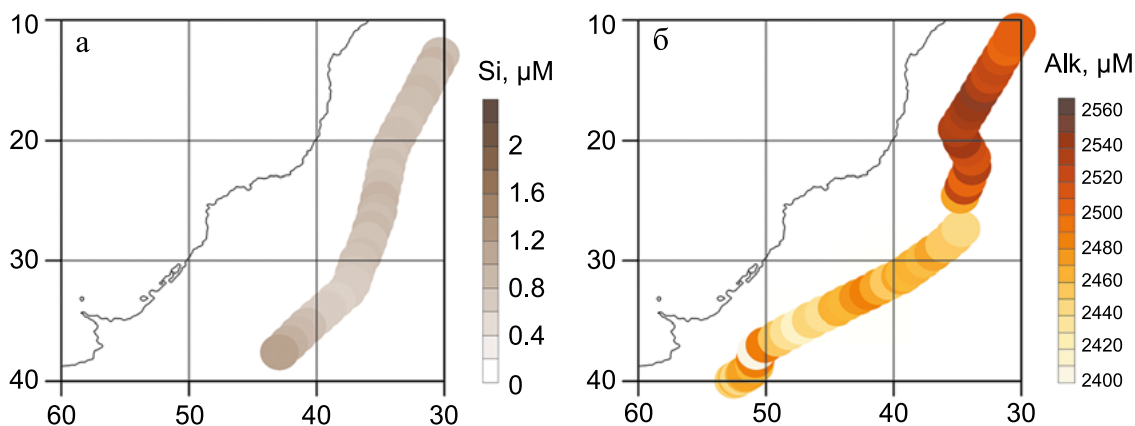


Рис. 8 – Распределение растворенного кремния (а, третий разрез) и общей титруемой щелочности (б, четвертый разрез) в поверхностном слое вод в районе залива Рио-де-ла-Плата

### Выводы

Все четыре трансатлантических разреза имели большую протяженность с севера на юг; их расположение в общих чертах повторяло друг друга; работы велись в различные сезоны, что позволило выделить сезонную изменчивость некоторых районов. Так, наибольшая изменчивость отмечена в зоне залива Рио-де-ла-Плата, что обусловлено влиянием сезонных изменений речного стока рек Парана и Уругвай, а также в районе, подверженному эоловому выносу с Африки, – изменение интенсивности ветров приводит к колебаниям количества растворенного кремния, содержащегося в поверхностном слое вод.

Наблюдавшиеся значения исследованных параметров соответствуют среднеклиматическим характеристикам для акватории Атлантического океана (Степанов, 1974; Булатов, Бараш, Иваненков, 1977). Локальные районы Канарского

апвеллинга и выноса аэрозолей из пустынных областей Африки, выделенные нами, также подтверждены другими исследованиями (Сирота, 2003; Клювиткин и др., 2004; Духова, 2010).

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН № FMWE-2021-0016 (анализ проб), государственного задания МГИ РАН (тема № FNNN-2021-0009) (подготовка проб) и гранта РФФ № 21-77-20004 (судовые измерения). Авторы выражают благодарность команде НИС «Академик Мстислав Келдыш» за неоценимую техническую помощь при проведении исследований.

### Список литературы

1. *Бордовский О. К., Иваненков В. Н.* Химия океана. Т. 1: Химия вод океана. М.: Наука, 1979. 521 с.
2. *Бордовский О. К., Чернякова А. М.* Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: ИО РАН, 1992. 200 с.
3. *Булатов Р. П., Бараиш М. С., Иваненков В. Н.* Атлантический океан. М.: Мысль, 1977. 296 с.
4. *Доманов М., Чведоржевска К., Ракуша-Суцевский С.* Парциальное давление  $\text{CO}_2$  в приводном слое воздуха на Трансатлантическом разрезе в ноябре–декабре 2000 г. // *Океанология*. 2005. Т. 45. № 3. С. 366–373.
5. *Дубравин В. Ф., Навроцкая С. Е.* Структура водных масс Атлантического океана. Калининград, 2007. 329 с. Деп. в ИЦ ВНИИГМИ-МЦД 10.10.07, № 1232-ГМ07.
6. *Духова Л. А.* Гидрохимическая структура и формирование биологической продуктивности вод в районе Канарского апвеллинга: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук: 25.00.28. Москва: Изд-во ВНИРО, 2010. 22 с.
7. *Духова Л. А., Сапожников В. В.* Гидрохимические показатели первичной продукции в зонах Перуанского и Канарского апвеллингов // *Труды ВНИРО*. 2014. Т. 152. С. 85–100.
8. *Исупова М. В.* Особенности водного баланса и распределения стока воды и наносов в дельте р. Парана // *Евразийский союз ученых*. 2021. № 7 (88). С. 7–15.
9. *Исупова М. В., Михайлов В. Н.* Многолетние изменения стока воды и наносов рек Парана и Уругвай // *Водные ресурсы*. 2018. Т. 45. № 6. С. 603–618.
10. *Клювиткин А. А.* Атмосферные аэрозоли и осадконакопление в аридных зонах Атлантического океана // *Доклады Академии наук. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российская академия наук»*. 2008. Т. 421. № 1. С. 111–115.
11. *Клювиткин А. А., Лукашин В. Н., Новигатский А. Н., Исаева А. Б., Серова В. В.* Минеральные аэрозоли, их концентрации, состав и потоки на океанскую поверхность // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 5. С. 756–767.
12. *Лапто С. С., Морозов Е. Г., Северов Д. Н., Соков А. В., Клювиткин А. А., Наги Г.* Фронтальное смешение речных и морских вод в заливе Рио-де-ла-Плата // *Доклады Академии наук. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российская академия наук»*. 2005. Т. 400. № 5. С. 690–692.
13. *Морозов Е. Г.* Краткие итоги антарктической экспедиции 2021–2022 гг. 87-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» // *Океанологические исследования*. 2022. Т. 50. № 1. С. 126–128.
14. *Морозов Е. Г., Спиридонов В. А., Молодцова Т. Н., Фрей Д. И., Демидова Т. А., Флинт М. В.* Исследования экосистемы атлантического сектора Антарктики (79-й рейс

- научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 5. С. 823–825.
15. Сапожников В. В., Чернышков П. П., Шнар В. Н., Духова Л. А., Батрак К. В. Комплексные исследования пелагической экосистемы района Канарского апвеллинга на СТМ «Атлантида» в июле–августе 2006 г. // *Океанология*. 2007. Т. 47. № 3. С. 473–476.
  16. Селиверстова А. М., Полухин А. А., Чульцова А. Л. Пространственная изменчивость гидрохимических параметров в поверхностном слое вод на трансатлантических разрезах в 2019–2020 гг. В сборнике: *Комплексные исследования Мирового океана // Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых*. Москва, 2021. С. 362–363.
  17. Сирота А. М. Структура и динамика вод в районе Канарского апвеллинга и состояние популяций пелагических рыб: диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук: 25.00.28. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2003. 182 с.
  18. Степанов В. Н. Мировой океан: динамика и свойства вод. М.: Знание, 1974. 256 с.
  19. Capurro L. R. A. Comprehensive Survey of the Rio de la Plata Area // *The International Hydrographic Review*. 1965. Vol. 42. No. 1. P. 25–36.
  20. Jickells T. D., An Z. S., Andersen K. K., Baker A. R., Bergametti G., Brooks N., Cao J. J., Boyd P. W., Duse R. A., Hunter K. A., Kawahata H., Kubilay N., Laroche J., Liss P. S., Mahowald N., Prospero J. M., Ridgwell A. J., Tegen I., Torres R. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate // *Science*. 2005. Vol. 308. No. 5718. P. 67–71.

Статья поступила в редакцию 24.08.2022, одобрена к печати 19.10.2022.

**Для цитирования:** Селиверстова А. М., Зуев О. А., Чульцова А. Л., Полухин А. А., Масевич А. В., Морозов Е. Г. Пространственно-временная изменчивость гидрохимических характеристик в поверхностном слое вод тропических широт Атлантического океана // *Океанологические исследования*. 2022. № 50 (3). С. 88–101. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(3\).5](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(3).5).

## SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS IN THE SURFACE LAYER OF WATERS OF TROPICAL LATITUDES OF THE ATLANTIC OCEAN

A. M. Seliverstova<sup>1</sup>, O. A. Zuev<sup>1</sup>, A. L. Chultsova<sup>1</sup>, A. A. Polukhin<sup>1</sup>,  
A. V. Masevich<sup>2</sup>, E. G. Morozov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia;*

<sup>2</sup>*Marine Hydrophysical Institute of the RAS,  
2, Kapitanskaya street, Sevastopol, 299011, Russia,  
e-mail: 201219941315ann@gmail.com*

The work is devoted to the modern distribution of hydrochemical parameters in the surface layer of waters of tropical latitudes of the Atlantic Ocean. The materials were collected based on the results of two expeditions onboard the R/V “Academik Mstislav Keldysh” – AMK 79 (2019–2020) and AMK 87 (2021–2022). Four longitudinal transatlantic sections were considered. The hydrochemical characteristics of the Canary upwelling areas, the zones of aerosol transport from the desert regions of Africa, the areas of influence of the river discharge of the Rio de la Plata are described in detail.

**Keywords:** hydrochemistry, nutrients, Atlantic Ocean, Canary upwelling, Rio de la Plata

**Acknowledgement:** The work was supported by an IO RAS No. FMWE-2021-0016 (sample analysis), state agreement of MHI RAS (theme № FNNN-2021-0009) (sample processing) and with Russian Science Foundation grant No. 21-77-20004 (ship measurements). The authors express their gratitude to the team of the R/V “Academik Mstislav Keldysh” for invaluable technical assistance in conducting research.

### References

1. Bordovsky, O. K. and V. N. Ivanenkov, 1979: *Khimiya okeana (Ocean chemistry)*. Moscow, Nauka, 521 p.
2. Bordovsky, O. K. and A. M. Chernyakova, 1990: *Sovremennyye metody gidrokhimicheskikh issledovaniy okeana (Modern methods of hydrochemical ocean research)*. Moscow, IO RAS, 200 p.
3. Bulatov, R. P., M. S. Barash, and V. N. Ivanenkov, 1977: *Atlanticheskii okean (Atlantic Ocean)*. Moscow, Mysl', 296 p.
4. Domanov, M., K. Chvedorzhevskaya, and S. Rakusha-Sushchevsky, 2005: Partial'noye davleniye SO<sub>2</sub> v privodnom sloye vozdukh na Transatlanticheskom razreze v noyabre–dekabre 2000 g (Partial pressure CO<sub>2</sub> in the driving air layer on the Transatlantic section in November–December 2000). *Oceanology*, **45** (3), 366–373.
5. Dubravin, V. F. and S. E. Navrotskaya, 2007: *Struktura vodnykh mass Atlanticheskogo okeana (Structure of water masses of the Atlantic Ocean)*. Kaliningrad, Dep. in IC VNIIGMI-MCD 10.10.07, No. 1232-gm07, 329 p.

6. Dukhova, L. A., 2010: *Gidrokhimicheskaya struktura i formirovaniye biologicheskoy produktivnosti vod v rayone Kanarskogo apvellinga: avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata geograficheskikh nauk: 25.00.28 (Hydrochemical structure and formation of biological productivity of waters in the area of the Canary upwelling: abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences: 25.00.28)*. Moscow, VNIRO Publishing House, 22 p.
7. Dukhova, L. A. and V. V. Sapozhnikov, 2014: *Gidrokhimicheskiye pokazateli pervichnoy produktsii v zonakh Peruanskogo i Kanarskogo apvellinov (Hydrochemical indicators of primary production in the zones of the Peruvian and Canary upwelling)*. *Proceedings of VNIRO*, **152**, 85–100.
8. Isupova, M. V., 2021: *Osobennosti vodnogo balansa i raspredeleniya stoka vody i nanosov v del'te r. Parana (Features of water balance and distribution of water runoff and sediment in the delta of the Parana River)*. *Eurasian Union of Scientists*, **88** (7), 7–15.
9. Isupova, M. V. and V. N. Mikhailov, 2018: *Mnogoletniye izmeneniya stoka vody i nanosov rek Parana i Urugvay (Long-term changes in water flow and sediments of the Parana and Uruguay rivers)*. *Water resources*, **45** (6), 603–618.
10. Klyuvitkin, A. A., 2008: *Atmosfernyye aerizoli i osadkonakopleniye v aridnykh zonakh Atlanticheskogo okeana (Atmospheric aerosols and sedimentation in arid zones of the Atlantic Ocean)*. *Reports of the Academy of Sciences*, **421** (1), 111–115.
11. Klyuvitkin, A. A., V. N. Lukashin, A. N. Novigatsky, A. B. Isaeva, and V. V. Serova, 2004: *Mineral'nyye aerizoli, ikh kontsentratsii, sostav i potoki na okeanskuyu poverkhnost' (Mineral aerosols, their concentrations, composition and flows to the ocean surface)*. *Oceanology*, **44** (5), 756–767.
12. Lappo, S. S., E. G. Morozov, D. N. Severov, A. V. Sokov, A. A. Klyuvitkin, and G. Nagy, 2005: *Frontal'noye smesheniye rechnykh i morskikh vod v zalive Rio-de-la-Plata (Frontal mixing of river and sea waters in the Rio de la Plata Bay)*. *Reports of the Academy of Sciences*, **400** (5), 690–692.
13. Morozov, E. G., 2022: *Kratkiye itogi antarkticheskoy ekspeditsii 2021–2022 gg. 87-y reys NIS «Akademik Mstislav Keldysh» (Brief results of the Antarctic expedition 2021–2022. 87<sup>th</sup> expedition of the R/V “Academician Mstislav Keldysh”)*. *Journal of oceanological research*, **50** (1), 126–128.
14. Morozov, E. G., V. A. Spiridonov, T. N. Molodtsova, D. I. Frey, T. A. Demidova, and M. V. Flint, 2020: *Issledovaniya ekosistemy atlanticheskogo sektora Antarktiki (79-y reys nauchno-issledovatel'skogo sudna “Akademik Mstislav Keldysh” (Ecosystem studies of the Atlantic sector of Antarctica (79<sup>th</sup> expedition of the research vessel “Academician Mstislav Keldysh”)*. *Oceanology*, **60** (5), 823–825.
15. Nagy, G. J., D. N. Severov, V. A. Pshennikov, M. De los Santos, J. J. Lagomarsino, K. Sans, and E. G. Morozov, 2008: *Rio de la Plata estuarine system: Relationship between river flow and frontal variability*. *Advances in Space Research*, **41** (2008), 1876–1881.
16. Sapozhnikov, V. V., P. P. Chernyshkov, V. N. Shnar, L. A. Dukhova, and K. V. Batrak, 2007: *Kompleksnyye issledovaniya pelagicheskoy ekosistemy rayona Kanarskogo apvellinga na STM “Atlantida” v iyule–avguste 2006 g (Comprehensive studies of the pelagic ecosystem of the Canary upwelling area at the Atlantis STM in July–August 2006)*. *Oceanology*, **47** (3), 473–476.
17. Seliverstova, A. M., A. A. Polukhin, and A. L. Chultsova, 2021: *Prostranstvennaya izmenchivost' gidrokhimicheskikh parametrov v poverkhnostnom sloye vod na transatlanticheskikh razrezakh v 2019–2020 gg. (Spatial variability of hydrochemical parameters in the surface layer of waters on transatlantic sections in 2019–2020)*. In the collection: *Integrated*

- studies of the World Ocean. *Materials at the VI All-Russian Scientific Conference of Young Scientists*, Moscow, 362–363.
18. Sirota, A. M., 2003: *Struktura i dinamika vod v rayone Kanarskogo apvellinga i sostoyaniye populyatsiy pelagicheskikh ryb: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata geograficheskikh nauk: 25.00.28 (Structure and dynamics of waters in the Canary upwelling area and the state of pelagic fish populations: dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences: 25.00.28)*. Kaliningrad, AtlantNIRO Publishing house, 182 p.
  19. Stepanov, V. N., 1974: *Mirovoy okean: dinamika i svoystva vod (World Ocean: dynamics and properties of waters)*. Moscow, Znanie, 256 p.
  20. Capurro, L. R. A., 1965: Comprehensive survey of the Rio de la Plata area. *International Hydrographic Review*, **42** (1), 25–36.
  21. Jikells, T. D., Z. S. Ahn, K. K. Andersen, A. R. Baker, G. Bergametti, N. Brooks, J. J. Kao, P. W. Boyd, R. A. Duse, K. A. Hunter, H. Kawahata, N. Kubilai, J. Laroche, P. S. Liss, N. Mahovald, J. M. Prospero, A. J. Ridgeway, I. Tegen, and R. Torres, 2005: Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry and climate. *Science*, **308** (5718), 67–71.

Submitted 24.08.2022, accepted 19.10.2022.

**For citation:** Seliverstova, A. M., O. A. Zuev, A. L. Chultsova, A. A. Polukhin, A. V. Masevich, and E. G. Morozov, 2022: Spatiotemporal variability of hydrochemical characteristics in the surface layer of waters of tropical latitudes of the Atlantic Ocean. *Journal of oceanological research*, **50** (3), 88–101, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(3\).5](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(3).5).