



## Информация. Экспедиции ВНИРО

# Особенности распределения гидролого-гидрохимических и гидробиологических характеристик в водах центрально-восточной Атлантики в осенний период 2022 г. (63-й рейс НИС «Академик Иоффе»)

К.В. Артамонова<sup>1</sup>, С.Б. Крашенинникова<sup>2</sup>, А.С. Приймак<sup>2</sup>, С.А. Бабич<sup>3,4</sup>, А.Н. Демидов<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

<sup>2</sup> Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН (ФИЦ ИнБЮМ), просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011

<sup>3</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ФГБУН «ИО РАН»), Нахимовский проспект, 36, Москва, 117997

<sup>4</sup> Морской гидрофизический институт ФИЦ РАН (ФГБУН ФИЦ «МГИ РАН»), 2, ул. Капитанская, Севастополь, 299011

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»), географический ф-т, Ленинские горы, 1, Москва, 119234

E-mail: ksusha@vniro.ru

**Цель работы:** определить структуру вод в районе центрально-восточной Атлантики и выявить особенности распределения гидролого-гидрохимических и гидробиологических характеристик верхнего эвфотического слоя в осенний период.

**Материалы и методы:** данные, представленные в работе, были получены в 63-м рейсе НИС «Академик Иоффе» с 29.09.2022 по 08.12.2022 гг. В ходе экспедиции измерялись гидролого-гидрохимические (температура, солёность, pH, растворенный кислород, фосфаты, нитриты, нитраты и силикаты) характеристики от поверхности до дна, а также гидробиологические (численность, биомасса и видовое разнообразие фитопланктона), отобранные параллельно с гидрохимическими пробами на горизонтах 0, 20 и 50 м. Гидрохимический анализ проводился в судовой лаборатории, согласно аттестованным методикам, принятым при анализе морских и пресных вод. Пробы фитопланктона сгущали с помощью воронки обратной фильтрации через трековые (ядерные) мембраны, фиксировали раствором Люголя до конечной концентрации 5%. Обработка проб проводилась методом микроскопирования водорослей в живой и сгущённой капле ( $V = 0,01$  мл), а также в счётной камере ( $V = 0,5$  мл) с использованием светового микроскопа *Olympus CX43* при увеличении  $10 \times 20$ ,  $10 \times 40$ . Была проведена идентификация таксономических групп и видового состава микроводорослей, выполнены расчёты численности и биомассы фитопланктона, а также коэффициента флористического сходства Сёренсена-Чекановского по принятым методикам ФИЦ ИнБЮМ РАН.

**Практическая значимость исследований:** оценка продукционного запаса в слабо изученном районе ЦВА, выявление механизмов воздействия на процессы продуцирования, оценка изменчивости структуры вод на фоне климатических изменений.

**Ключевые слова:** структура вод, растворённый кислород, биогенные элементы, биомасса и численность, видовой состав фитопланктона, Атлантический океан.

## Features of the distribution of hydrological, chemical and biological characteristics in the waters of the Central-East Atlantic in the autumn of 2022 (cruise 63 of the R/V «Akademik Ioffe»)

Ksenia V. Artamonova<sup>1</sup>, Svetlana B. Krasheninnikova<sup>2</sup>, Anastasia S. Priymak<sup>2</sup>, Sergey A. Babich<sup>3,4</sup>, Alexandr N. Demidov<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okružhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

<sup>2</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS («IBSS RAS»), 2, av. Nakhimov, Sevastopol, 299011, Russia

<sup>3</sup> P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS («IO RAS»), 36, Nakhimovskiy prosp., Moscow, 117997, Russia

<sup>4</sup> Marine Hydrophysical Institute of RAS («MHI RAS»), 2, Kapitanskaya str., Sevastopol, 299011, Russia

<sup>5</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University («M.V. Lomonosov MSU»), Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia

**The goal of the work:** to determine the water structure in the Central part of East Atlantic and to identify the features of the distribution of hydrological, chemical and biological characteristics of the upper layer in the autumn period

**Materials and methods:** the data presented in the work were obtained on the 63<sup>rd</sup> cruise of the R/V «Akademik Ioffe» (September 29, 2022–December 8, 2022). During the expedition, hydrological and chemical (temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, phosphates, nitrites, nitrates and silicates) characteristics were measured from the surface to the bottom, as well as biological (number, biomass and species diversity of phytoplankton), taken with chemical samples on depths of 0, 10, 20 and 50 m. Chemical analysis was carried out in the ship's laboratory, according to certified methods for sea and fresh waters. Phytoplankton samples were thickened

using a reverse filtration funnel through track (nuclear) membranes and fixed with Lugol's solution to a final concentration of 5%. To study the species diversity, abundance and biomass of plankton microalgae, samples were processed by direct microscopy of algae in a living and thickened drop ( $V = 0.01$  ml), as well as in a counting chamber ( $V = 0.5$  ml) using an Olympus CX43 light microscope (magnification  $10 \times 20$ ,  $10 \times 40$ ). Identification of taxonomic groups and species composition of microalgae, calculations of the abundance and biomass of phytoplankton, as well as the Sørensen-Czekanowski floristic similarity coefficient according to the adoption of the methods of the «IBSS RAS» were carried out.

**The practical significance of the research:** assessment of the production stock in a poorly studied region of the Central Eastern Caucasus, identification of mechanisms for influencing production processes, assessment of the variability of the water structure against the background of climate change.

**Keywords:** water structure, dissolved oxygen, nutrients, phytoplankton biomass and abundance, Atlantic Ocean.

Работа выполнена в рамках Соглашения о намерениях по сотрудничеству в научно-исследовательской деятельности между Всероссийским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО») и ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук» («ИО РАН») от 07.08.2018 г. и приглашения директора ИО РАН А.В. Сокова специалистов ВНИРО, Федерального исследовательского центра Института биологии южных морей РАН (ФИЦ ИнБЮМ) и Московского государственного университета (МГУ) в комплексную научно-исследовательскую экспедицию по изучению структуры, продуктивности и функциональных параметров экосистемы района ЦВА.

Экспедиция проводилась в период с 29 сентября по 10 декабря 2022 г. в 63-м рейсе НИС «Академик Иоффе». С 9 по 16 октября были выполнены исследования в верхнем эвфотическом слое (от 0–50 м) в районе Канарского течения ( $42^\circ$ – $22^\circ$  с. ш.). С 19 октября по 17 ноября проводились глубоководные работы на океанологическом разрезе, повторяющем положение разреза *WOCE A15*, а также в районе глубоководных разломов Романш и Чейн (рис. 1 б). Положение комплексных станций 63-го рейса НИС «Академик Иоффе» показано на рис. 1 а, б. Измерения температуры и солёности производились с помощью STD-зонда – SeaBird 19 plus непрерывно от поверхности до дна. Зондирующий комплекс опускался с поверхности со скоростью не более 1 м/с, примерно за 20 м до дна скорость опускания комплекса уменьшалась с 1 м/с до 0,5–0,3 м/с. За 5–10 м до дна зондирующий комплекс останавливался. Расстояние до дна определялось альтиметром *Teledyne*, который срабатывал за 20–50 м до дна.

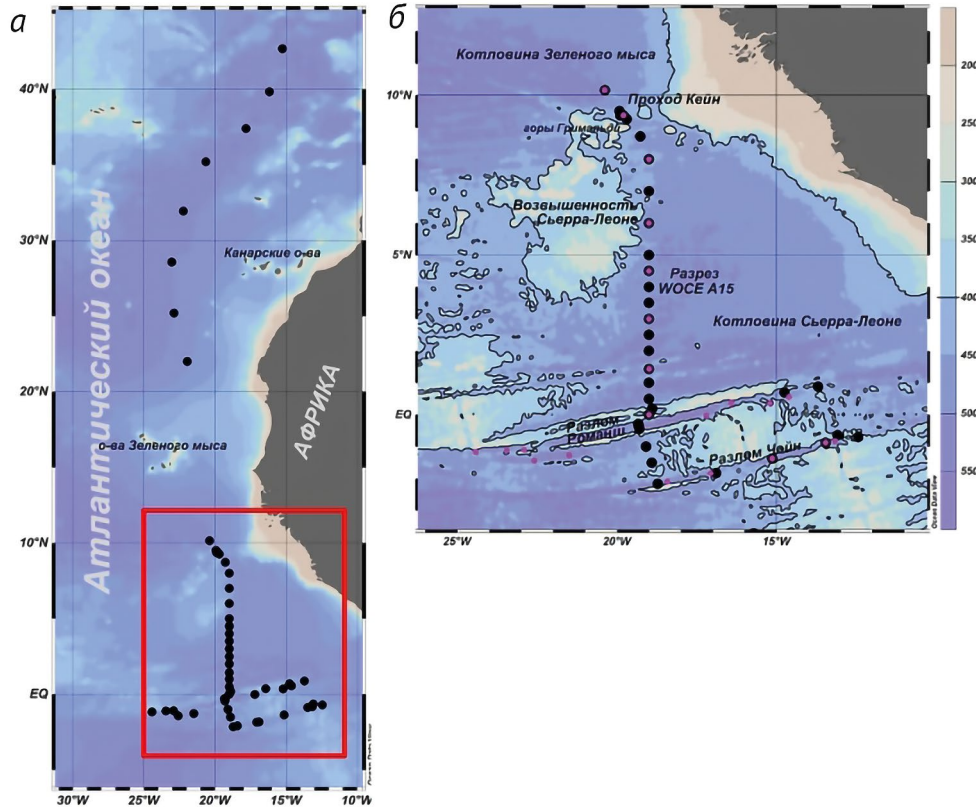
Пробы воды на гидрохимический и гидробиологический анализ отбирались 10-литровыми батометрами Нискина, размещёнными на зондирующем комплексе. Гидрохимический анализ включал определение содержания растворённого в воде кислорода, величины рН и концентрации биогенных элемен-

тов (фосфатов, нитритов, нитратов, силикатов). Пробы воды определялись непосредственно после их отбора в судовой лаборатории, согласно аттестованным методикам, принятым при анализе морских и пресных вод, при этом пробы предварительно не фильтровались, исследовалось всё доступное для фитопланктона содержание биогенных элементов [Сапожников и др., 2003].

Отбор проб воды для определения биомассы, численности и видового состава фитопланктона осуществлялся в дневное время суток с глубин 0, 20, 50 м батометрами Нискина параллельно с отбором гидрохимических проб. Пробы фитопланктона (6 литров) сгущали с помощью воронки обратной фильтрации через трековые (ядерные) мембраны ( $D_{\text{пор}} = 1$  мкм) на каждой биологической станции, фиксировали раствором Люголя до конечной концентрации 5%. Для изучения видового разнообразия, численности и биомассы микроводорослей планктона обработка проб проводилась методом прямого микроскопирования водорослей в живой капле ( $V = 0,01$  мл), сгущённой капле ( $V = 0,01$  мл), а также в счётной камере ( $V = 0,5$  мл). Расчёты численности и биомассы фитопланктона выполнены по описанной классической методике [Лях, Брянцева, 2001].

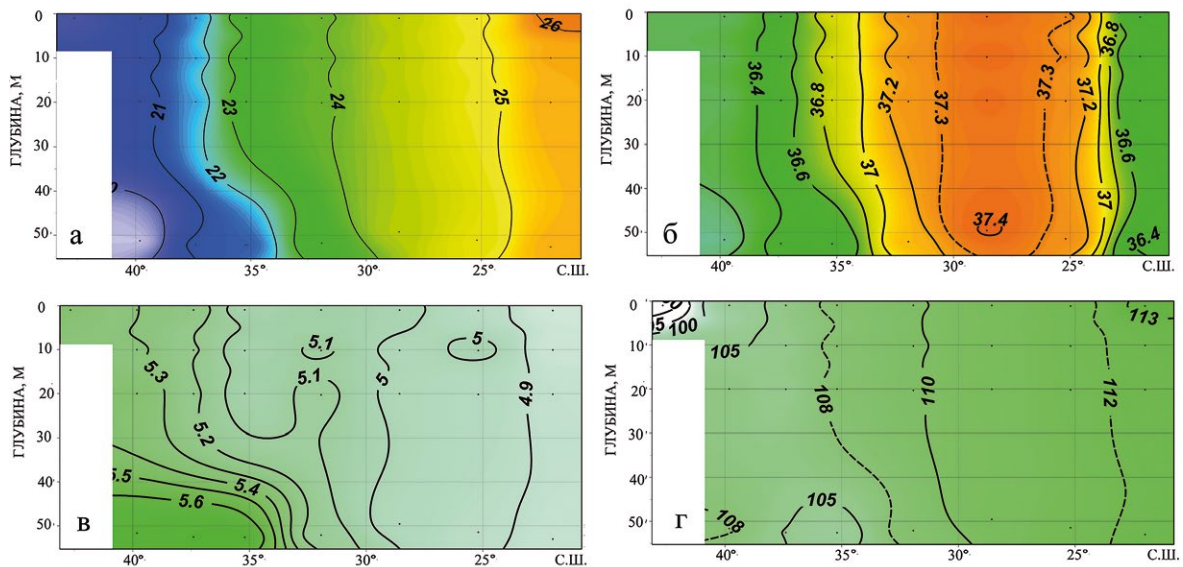
Всего было выполнено 58 комплексных станций, из них 35 станций с определением комплекса гидролого-гидрохимических параметров; а 23 станции – с определением комплекса гидролого-гидрохимических и гидробиологических характеристик.

По полученным данным в районе Канарского течения пространственное распределение гидролого-гидрохимических показателей в верхнем эвфотическом слое во многом подчинялось зональному распределению: температура воды и солёность возрастали от умеренных широт к тропическим, с максимумом солёности (более 37 епс) в районе  $25$ – $30^\circ$  с. ш. (рис. 2 а, б). Севернее  $40^\circ$  с. ш. наблюдались минимальные для этого района значения температуры воды ( $19^\circ\text{C}$ ) и солёности (36,2 епс). Содержание растворённого



**Рис. 1.** Общая схема комплексных станций, выполненных в 63-м рейсе ПС «Академик Иоффе» (а)  
 Положение станций глубоководного зондирования обозначены чёрными точками, станции отбора проб  
 на гидробиологические исследования показаны фиолетовыми точками (б)

**Fig. 1.** General scheme of complex stations carried out in 63-rd cruise of R/V “Akademik Ioffe” (a).  
 Locations of stations with deep-sea probing are indicated by black dots; stations  
 for hydrobiological studies are indicated by violet dots (b)



**Рис. 2.** Распределение температуры, °С (а), солёности, епс (б), содержания растворённого кислорода, мл/л (v) и его  
 процентного насыщения, % (r) в верхнем 50-метровом слое на квази-широтном разрезе в районе Канарского течения  
 (22–42°с.ш.)

**Fig. 2.** Distribution of temperature, C (a), salinity, eps (б), dissolved oxygen content, ml/L (v) and its percentage  
 saturation, % (r) in the upper 50 m layer in quasi-latitude section in the region of Canary current (22–42°NW)

кислорода в верхнем 50-м слое полностью определялось изменением температуры воды, с максимумом на самой северной станции района и изменялось от 5,3 мл/л на поверхности до 5,7 мл/л на глубине 50 м (рис. 2 в). При движении на юг температура поверхности воды увеличивалась (до 26 °С на самой южной станции в районе 22° с. ш.), а содержание растворённого кислорода уменьшалось до 4,8 мл/л. При этом, процентное его насыщение, наоборот, увеличивалось с севера на юг (от <90 до 113%) (рис. 2 г).

Верхний фотический слой был обеднён биогенными элементами. Низкие концентрации фосфатов (0.1 мкМ) (рис. 3 а) и нитратов (<0,2 мкМ) (рис. 3 в) наблюдались во всём однородном слое от поверхности до глубины 50 м.

На самой северной станции района, которая была расположена в умеренной климатической зоне, отмечались более высокие концентрации биогенных элементов: фосфатов – до 0,3 мкМ, нитратов – до 0,4 мкМ,

силикатов – до 0,85 мкМ (рис. 3 а-в). На самой южной станции (в районе 22° с. ш.) однородное вертикальное распределение температуры воды и гидрохимических показателей нарушалось. Слой 10–50 м был более холодный с более высокими концентрациями фосфатов и нитритов по сравнению с поверхностью и низким содержанием нитратного азота (рис. 3 а-г). Здесь отмечалось максимальное процентное насыщение растворённого кислорода, превышающее во всем 50-метровом слое 112% (рис. 2 г), что говорит об интенсивном процессе фотосинтеза. Как видно из рис. 4 максимальные показатели численности (более 0,1 млн кл/м<sup>3</sup>) и биомассы (более 10 мг/м<sup>3</sup>) фитопланктона также наблюдались на этой станции с максимумом на глубине 20 м (до 0,15 млн кл/м<sup>3</sup> и 13,1 мг/м<sup>3</sup>, соответственно). Эта станция достаточно близко была расположена к району Канарского апвеллинга, влияние которого возможно удалось проследить.

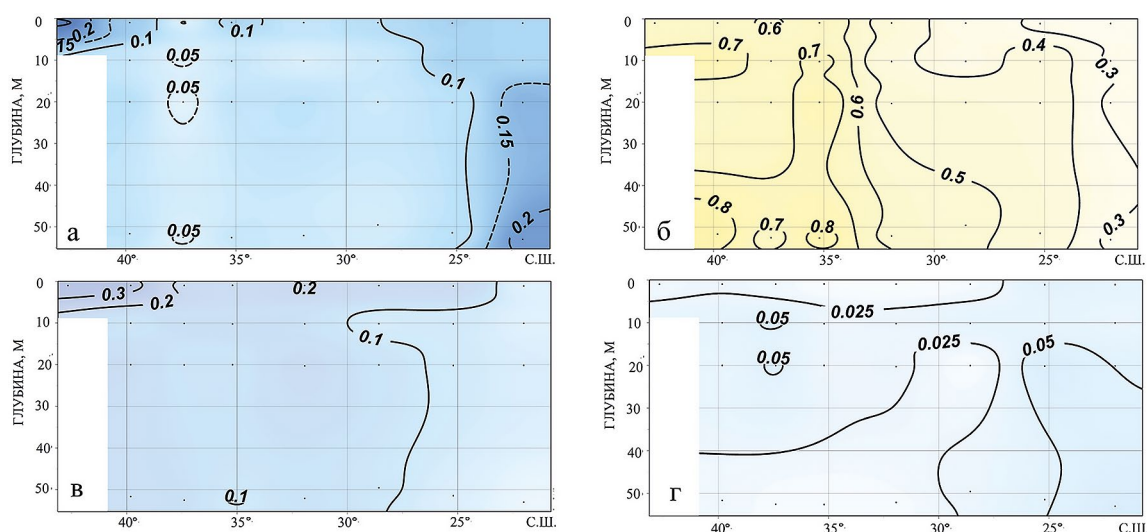


Рис. 3. Распределение концентраций фосфатов, мкМ (а), силикатов мкМ (б), нитратов, мкМ (в), нитритов, мкМ (г) в верхнем 50-метровом слое на квази-широтном разрезе в районе Канарского течения (22–42° с.ш.)

Fig. 3. Distribution of phosphate concentrations, мкМ (а), silicates мкМ (б), nitrates мкМ (в), nitrites мкМ (г) in the upper 50 m layer in quasi-latitude section in the region of Canary current (22–42° NW)

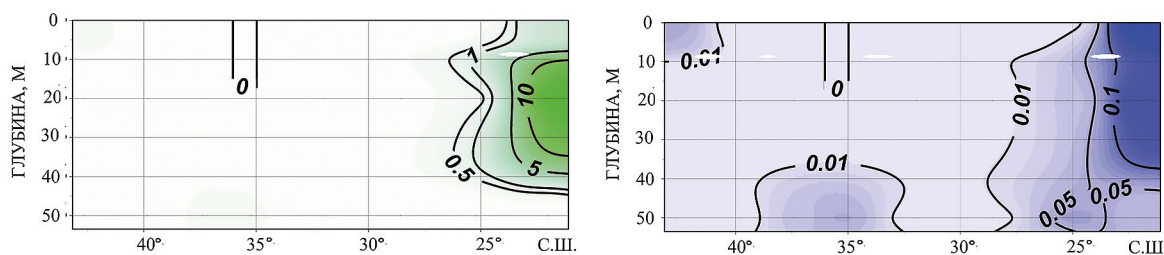


Рис. 4. Распределение биомассы, мг/м<sup>3</sup> (слева) и численности фитопланктона, млн кл/м<sup>3</sup> (справа) в верхнем 50-метровом слое на квази-широтном разрезе в районе Канарского течения (22–42° с.ш.)

Fig. 4. Distribution of plankton biomass, мг/м<sup>3</sup> (leftward) and its abundance, mln.cells/m<sup>3</sup> (rightward) in the upper 50 m layer in quasi-latitude section in the region of Canary current (22–42°NW).



В то же время в целом воды района Канарского течения характеризовались очень низкой биомассой и численностью фитопланктона, которые на большей части исследуемой акватории были близки к нулю (рис. 4), а также низким видовым разнообразием, здесь было выявлено всего 8 таксонов. В водах Канарского течения по полученным данным встречались мелкоклеточные *Oxytoxum* spp. и *Gymnodinium* spp., а также несколько видов рода *Neoceratium* и *Nitzschia*.

Второй этап работ включал в себя исследование структуры вод от поверхности до дна на разрезе по 19° з. д. (от 10° с. ш. до 2° ю. ш.), который пересекал два глубоководных разлома Чейн и Романш (рис. 1 б). В поверхностном слое наблюдались характерные для тропических и экваториальных вод высокие значения температуры, солёности и минимальные концентрации биогенных элементов. Содержание растворённого кислорода на разрезе изменялось от 4,5 до 4,9 мл/л, процентное его насыщение в среднем было невысоким и составляло 104%.

При этом в районе 6–10° с. ш. наблюдался резкий подъём термоклина до глубины 30–40 м и обогащение эвфотического слоя биогенными элементами: концентрация нитратов достигала 16,8  $\mu\text{M}$ , нитри-

тов – 0,4  $\mu\text{M}$ , фосфатов – 1,4  $\mu\text{M}$ , силикатов – 5–7  $\mu\text{M}$ . При этом резко уменьшались температура воды (до 15 °С) и содержание растворённого кислорода до 1,6 мл/л. В результате подъёма вод, богатых биогенными элементами, наблюдались резкие всплески биомассы фитопланктона, главным образом, на глубинах 20 и 50 м (рис. 5).

Южная часть разреза находилась под влиянием экваториального апвеллинга, который также проявлялся в небольшом увеличении концентрации биогенных элементов во всём поверхностном слое с максимумом на 50 м: фосфатов – до 0,4  $\mu\text{M}$ , нитритов – до 0,2  $\mu\text{M}$ . На самой южной станции (в районе 2° ю. ш.) также отмечалось увеличение численности и биомассы фитопланктона (рис. 5).

Ниже поверхностного слоя температура воды, солёность и содержание растворённого кислорода резко уменьшались, а концентрации биогенных элементов – возрастали (рис. 6). На глубинах 300–500 м наблюдался хорошо выраженный минимум растворённого кислорода, достигающий 3 мл/л в южной части разреза и <1 мл/л – в северной. Глубже в вертикальной структуре располагались промежуточные воды, которые выделялись по характерному миниму-

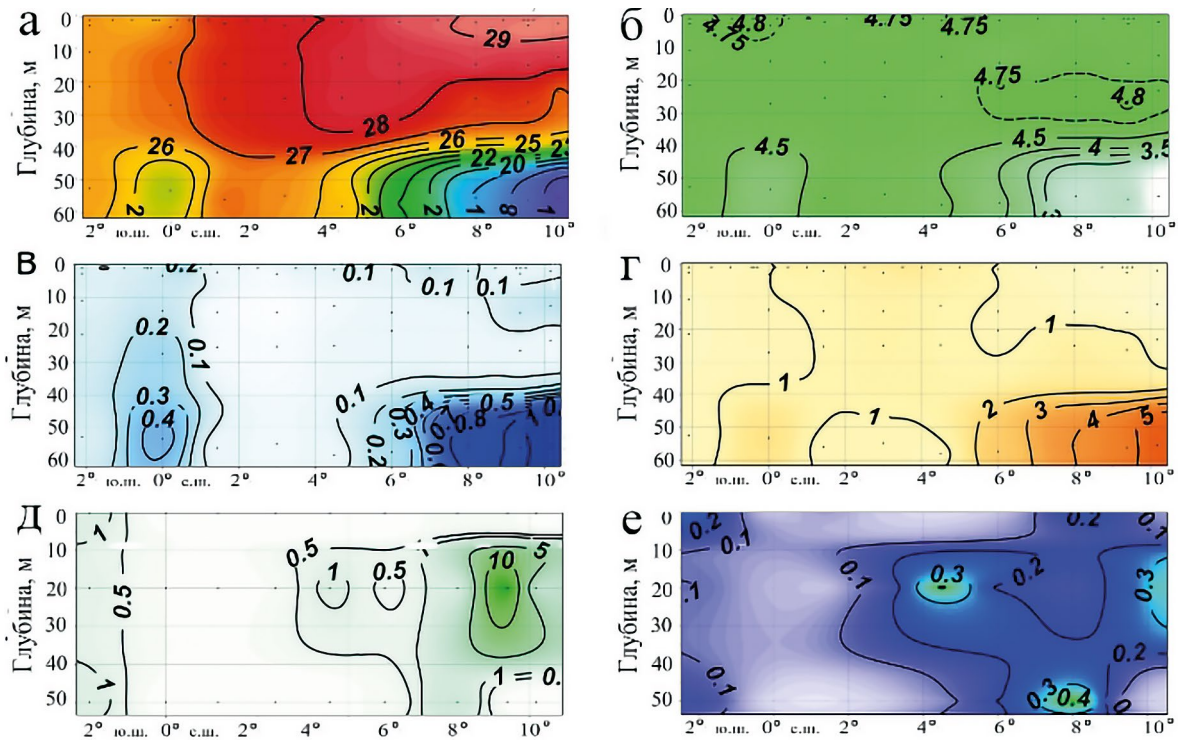


Рис. 5. Распределение температуры воды, °С (а), содержания растворённого кислорода, мл/л (б), концентрации фосфатов,  $\mu\text{M}$  (в), силикатов,  $\mu\text{M}$  (г), биомассы,  $\text{mg}/\text{m}^3$  (д) и численности фитопланктона,  $\text{mln. cells}/\text{m}^3$  (е) в верхнем 50-метровом слое на квазимеридиональном разрезе (2° ю. ш.– 10° с. ш.)

Fig. 5. Distribution of temperature, °С (a), dissolved oxygen content, ml/L (б), concentrations of phosphates,  $\mu\text{M}$  (в), silicates,  $\mu\text{M}$  (г), plankton biomass,  $\text{mg}/\text{m}^3$  (д) and its abundance,  $\text{mln. cells}/\text{m}^3$  (е) in the upper 50 m layer in quasi-meridional section (2° SW–10° NW)

му солёности (менее 33,6 епс) на глубинах 700–800 м (рис. 6 б), которому соответствовал максимум концентраций биогенных элементов: силикатов – до 33  $\mu\text{M}$ , фосфатов – до 2,38  $\mu\text{M}$ , нитратов – до 33,8  $\mu\text{M}$  (рис. 6 в, г). Промежуточные воды на разрезе были представлены, главным образом, Антарктической промежуточной водой (ААПВ). Здесь же отмечались низкие значения рН (7,7–7,9 ед. рН).

Ниже ААПВ всю толщу вод 1200–4200 м занимал комплекс Северо-атлантических глубинных вод (САГВ). Верхний слой САГВ характеризовался максимумом солёности (34,98 епс) и минимумом силикатов (18,2  $\mu\text{M}$ ) на глубинах 1200–2000 м, а средний и нижний слои – максимумом растворённого кислорода (5,9–6,1 мл/л) и глубинным минимумом фосфатов и нитратов (рис. 6 в, г).

Донные воды, расположенные глубже САГВ, выделялись по минимуму температуры (0,8–2,3  $^{\circ}\text{C}$ ), солёности (<34,72 епс), растворённого кислорода (5,2–5,7 мл/л) и максимуму биогенных элементов, особенно силикатов, достигавших 90–118  $\mu\text{M}$  у дна. Кроме того, для всего придонного слоя были характерны низкие величины рН (6,7–7,1 ед. рН).

Кроме анализа глубоководной структуры вод на разрезе, пересекающем разломы Романш и Чейн с севера на юг, в поверхностном слое (0–50 м) на меридиональных разрезах (с запада на восток) вдоль разломов Романш и Чейн (рис. 1б) проводились ис-

следования особенностей распределения гидролого-гидрохимических и гидробиологических характеристик. На рис. 7 представлены распределения исследованных показателей для южного полушария. Этот район находился под влиянием экваториального апвеллинга и характеризовался в целом более высокими концентрациями биогенных элементов.

Восточнее 16° з. д. наблюдался подъём холодных (с температурой менее 22  $^{\circ}\text{C}$ ), богатых биогенными элементами вод (рис. 7). Здесь были получены максимальные показатели численности фитопланктона (до 5,5 млн кл./м<sup>3</sup>) и повышенная его биомасса (более 3 мг/м<sup>3</sup>) (рис. 7). Кроме того, на самой западной станции в разломе Романш (24–25° з. д.) также наблюдалось резкое повышение показателей численности и биомассы фитопланктона с максимумом на глубине 50 м, достигающем 3,2 млн кл./м<sup>3</sup> и 33 мг/м<sup>3</sup>, соответственно.

В целом по полученным данным район экваториального апвеллинга характеризовался наиболее богатым видовым разнообразием фитопланктона. Здесь было выявлено максимальное число (около 30) видов микроводорослей. Во всем слое 0–50 м было зафиксировано доминирование колониальных диатомовых рода *Chaetoceros*, *Pseudo-nitzschia*, обуславливающих рост показателей численности, а также крупноклеточных диатомей *Proboscia alata* и динофитовых рода *Ceratium*, вносящих значительный вклад в показатели биомассы.

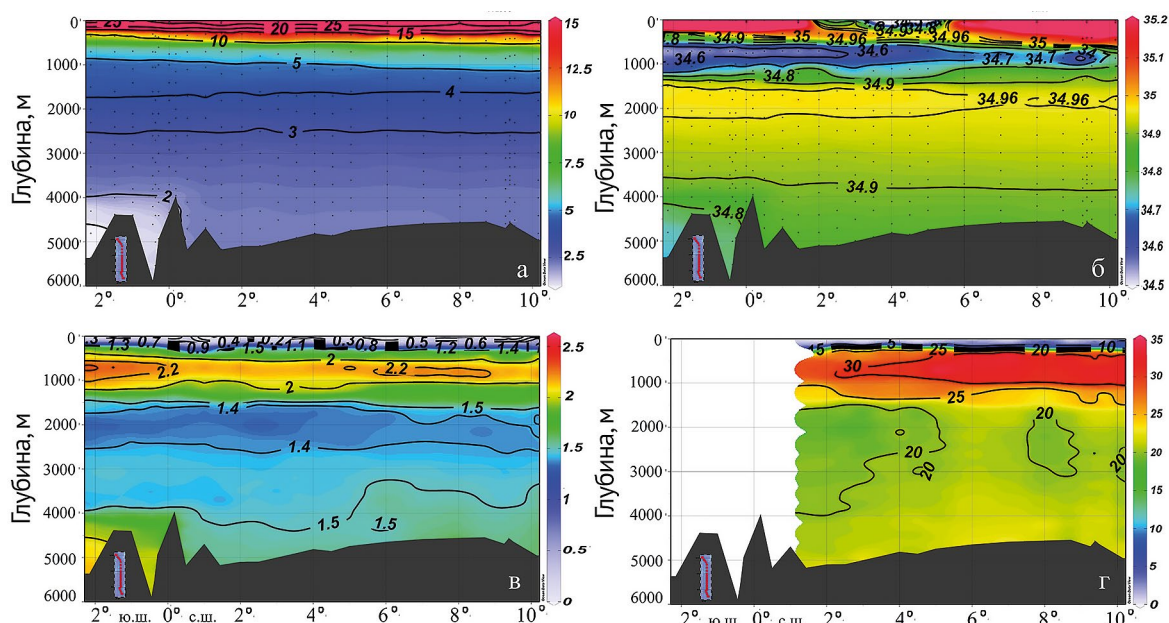
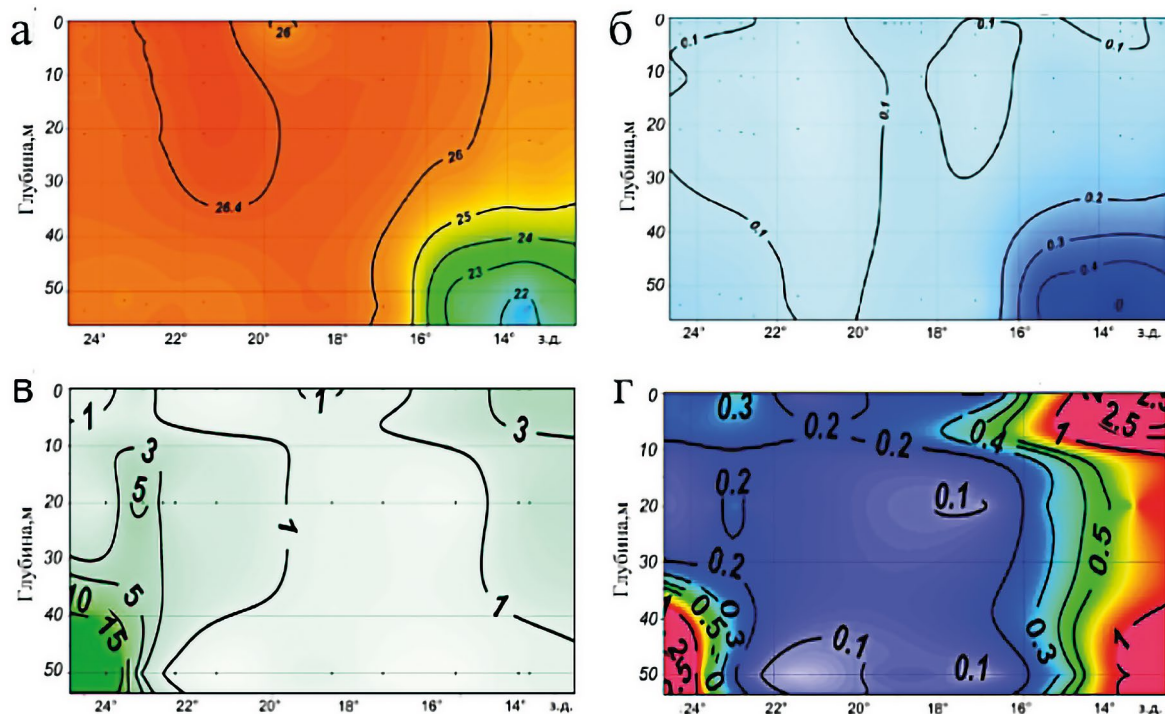


Рис. 6. Распределение температуры,  $^{\circ}\text{C}$  (а), солёности, епс (б), концентраций фосфатов,  $\mu\text{M}$  (в), нитратов,  $\mu\text{M}$  (г) на квазимеридиональном разрезе (2° ю. ш.– 10° с. ш.)

Fig. 6. Distribution of temperature,  $^{\circ}\text{C}$  (a), salinity, psu (б), concentrations of phosphates,  $\mu\text{M}$  (в), nitrates,  $\mu\text{M}$  (г) in quasi-meridional section (2° SW-10° NW)



**Рис. 7.** Распределение температуры воды, °С (а), концентрации фосфатов,  $\mu\text{M}$  (б), биомассы,  $\text{mg}/\text{m}^3$  (в) и численности фитопланктона,  $\text{mln cells}/\text{m}^3$  (г) в верхнем 50-метровом слое на разрезе в разломах Романш-Чейн по данным 63 рейса НИС «Академик Иоффе»

**Fig. 7.** Distribution of water temperature, °C (a), concentrations of phosphates,  $\mu\text{M}$  (б), plankton biomass,  $\text{mg}/\text{m}^3$  (в) and its abundance,  $\text{mln cells}/\text{m}^3$  (г) in the upper 50 m layer on the faults Romanche-Chain ( $2^\circ \text{ SW} - 10^\circ \text{ NW}$ ) according to data of 63-d cruise of R/V "Akademik Ioffe"

### Благодарности

Авторы благодарят начальника экспедиции д. г.-м. н. Иванову Е.В. (ИО РАН), а также м. н. с. Родионову Н.Ю. (ФИЦ ИнБЮМ), н. с. Гиппиуса Ф.Н. (МГУ имени М.В. Ломоносова) и весь научный и судовой состав, принимавший участие в получении данных измерений в 63-м рейсе НИС «Академик Иоффе».

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при подготовке данной статьи.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках государственных заданий МГУ № 121031900090–6, ФИЦ ИнБЮМ по темам № 121041400077–1, 121040500247–0, 121030300149–0, по теме МГИ РАН № FNNN-2021–0002. По гранту РФФ 19–17–00110–П проводились исследования термохалинных характеристик в поверхностном слое. При поддержке гранта РФФ № 23–17–00032 были выполнены исследования по

структуре вод и гидролого-гидрохимическим характеристикам.

### ЛИТЕРАТУРА

- Лях А.М., Брянцева Ю.В. 2001. Компьютерная программа для расчёта основных параметров фитопланктона // Экология моря. Вып. 58. С. 87–90.
- Сапожников В.В., Агатова А.И., Аржанова Н.В., Мордасова Н.В., Лапина Н.М., Зубаревич В.Л., Лукьянова О.Н., Торгунова Н.И. 2003. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО. 202 с.

### REFERENCES

- Lyakh A.M., Bryantseva Yu.V. 2001. Computer program for the calculation of basic parameters of phytoplankton // *Ekologiya morya*. 58: P. 87–90.
- Sapozhnikov V.V., Agatova A.I., Arzhanova N.V., Mordasova N.V., Lapina N.M., Zubarevich V.L., Lukyanova O.N., Torgunova N.I. 2003. Guidance on the chemical analysis of marine and fresh waters during ecological monitoring of fishery reservoirs and areas of the World Ocean. Moscow: VNIRO Publish. 202 p.

Поступила в редакцию 25.04.2023 г.