

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД ЕВРОПЕЙСКОЙ АРКТИКИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2021 Г.

О. П. Нецветаева, Н. И. Торгунова

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 30 мая 2025 г.

Для цитирования

Нецветаева О. П., Торгунова Н. И. Гидрохимическая характеристика вод европейской Арктики в летний период 2021 г. // Арктика: экология и экономика. — 2025. — Т. 15, № 4. — С. 533—543. — DOI: 10.25283/2223-4594-2025-4-533-543.

Получены уникальные характеристики гидрохимической структуры вод европейской Арктики вокруг архипелага Шпицберген по материалам 84-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» (июль-август 2021 г.). Исследования выполнены на пяти разрезах, расположенных к западу, северу и востоку от архипелага. Проанализированы пространственно-вертикальные распределения концентраций растворенного кислорода, кремния, фосфора фосфатного и минеральных форм азота. Выявлены четкие различия в распределении растворенного кислорода между водами атлантического и арктического происхождения. В вертикальной структуре водной толщи выделены три основных слоя: поверхностный, промежуточный и глубинный, для которых установлены концентрации биогенных элементов, характерные для окончания летней сезонной сукцессии. Установлено, что для концентраций кремния, фосфора фосфатного и азота нитратного характерно плавное увеличение с глубиной, что отражает процессы реминерализации органического вещества. Максимумы концентраций азота нитритного и аммонийного приурочены к промежуточному слою, что связано с процессом нитрификации. Отмечено, что, несмотря на существенные различия в глубине заложения разрезов, основные изменения происходят в поверхностном и промежуточном слоях. Указано на истощение запасов биогенных элементов в поверхностных водах второй год подряд в августе.

Ключевые слова: европейская Арктика, Шпицберген, растворенный кислород, биогенные элементы, гидрохимическая структура.

Введение

Глобальные климатические изменения на Земле существенно влияют на всю физическую систему Арктики, преобразуя процессы обмена веществом с соседними бассейнами и внутренние круговороты [1]. Так, рост первичной продукции за последние два десятилетия в Северном Ледовитом океане связывают с уменьшением ледового покрова и атлантификацией [2—5].

Известно, что в восточной части Арктики основным лимитирующим фактором для развития первичной продукции является азот [6; 7]. Для европейской же части, вероятно, характерно равное влияние на ее развитие нитратов, кремния и железа [8]. Однако в акватории к северу от архипелага Шпицбер-

ген за последние три десятилетия не отмечалось существенных трендов для концентраций нитратов и кремния (за исключением некоторого уменьшения последней) [9]. В это же время в канадском секторе Арктики существует тенденция к уменьшению запасов нитратов, а также прогнозируется продолжение олиготрофирования Северного Ледовитого океана в целом. Основная причина такого положения заключается в таянии льдов, что, с одной стороны, приводит к увеличению площадей открытой воды, где активно развивается фитопланктон, потребляя биогенные элементы, а с другой — способствует распреснению поверхностных вод, что усиливает стратификацию и затрудняет поступление биогенов из глубинных вод [10].

Европейская Арктика является интересным полигоном для исследований, так как ее океаногра-

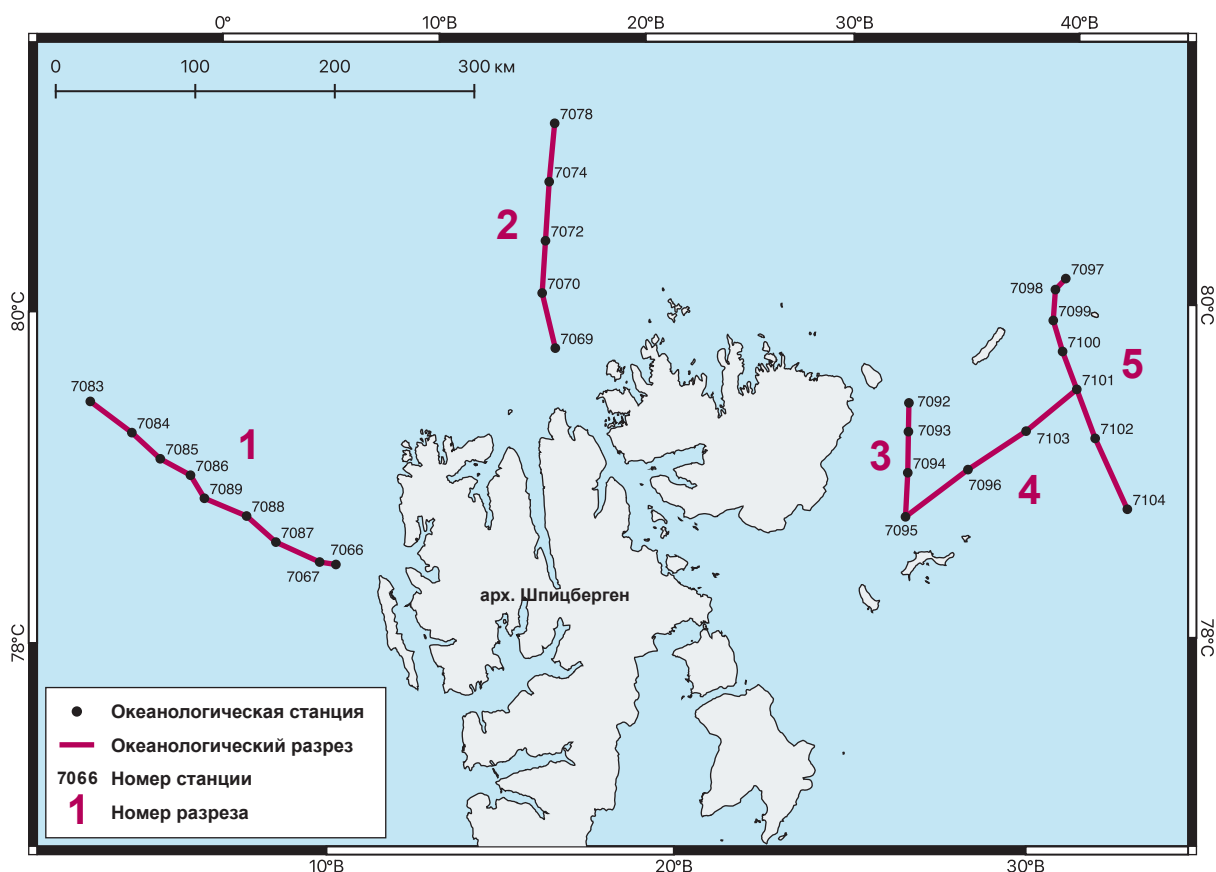


Рис. 1. Расположение комплексных океанологических станций в 84-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш»
Fig. 1. The location of integrated oceanographic stations during the 84th voyage of the research vessel "Akademik Mstislav Keldysh"

фический режим формируется под действием конкурирующих встречных потоков теплой и соленой воды из Северной Атлантики и холодной опресненной воды из Арктического бассейна, количество которой увеличивается за счет интенсификации таяния льдов. Атлантические теплые и соленые воды, приносимые Северо-Атлантическим течением, образуют в Норвежском, Гренландском и Баренцевом морях систему теплых поверхностных потоков, включающую Норвежское, Западно-Шпицбергенское, Нордкапское и Восточно-Исландское течения [11]. В отличие от восточной части Арктики [12—14 и др.] в этом районе влияние материкового стока не столь существенно ввиду отсутствия на водосборе крупных рек. Однако для прибрежных акваторий здесь важнейшим источником поступления биогенных элементов в морскую воду является растворение пород, слагающих берега, в том числе и в результате таяния вечной мерзлоты, что подтверждается экспериментами [13; 15].

Район Шпицбергена является «горячей точкой» глобального потепления и идеальным природным полигоном для исследования процессов атлантификации и их влияния на гидрохимическую структуру вод Арктики. Этот район довольно хорошо изучен благодаря наличию исследовательских станций

и регулярным экспедициям. Существуют длинные временные ряды данных по гидрохимии, особенно во фьордах западного Шпицбергена. Однако большинство предыдущих исследований фокусировалось именно на фьордах, прибрежных водах и пресноводных объектах Шпицбергена. Несмотря на это, в гидрохимических данных по открытым акваториям остаются пробелы, и настоящее исследование направлено на восполнение этих пробелов, предоставив современные натурные данные.

Таким образом, цель работы заключается в характеристике гидрохимической структуры морских вод на открытой акватории вокруг Шпицбергена по содержанию растворенного кислорода и главных биогенных элементов в летний период 2021 г.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили данные, полученные в ходе 84-го рейса научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Мстислав Келдыш» (июль-август 2021 г.). Исследования охватили открытые акватории к западу, северу и востоку от Шпицбергена (рис. 1).

Два глубоководных (2500—2700 м) разреза были выполнены в бассейнах Гренландского моря и Северного Ледовитого океана, а три мелководных

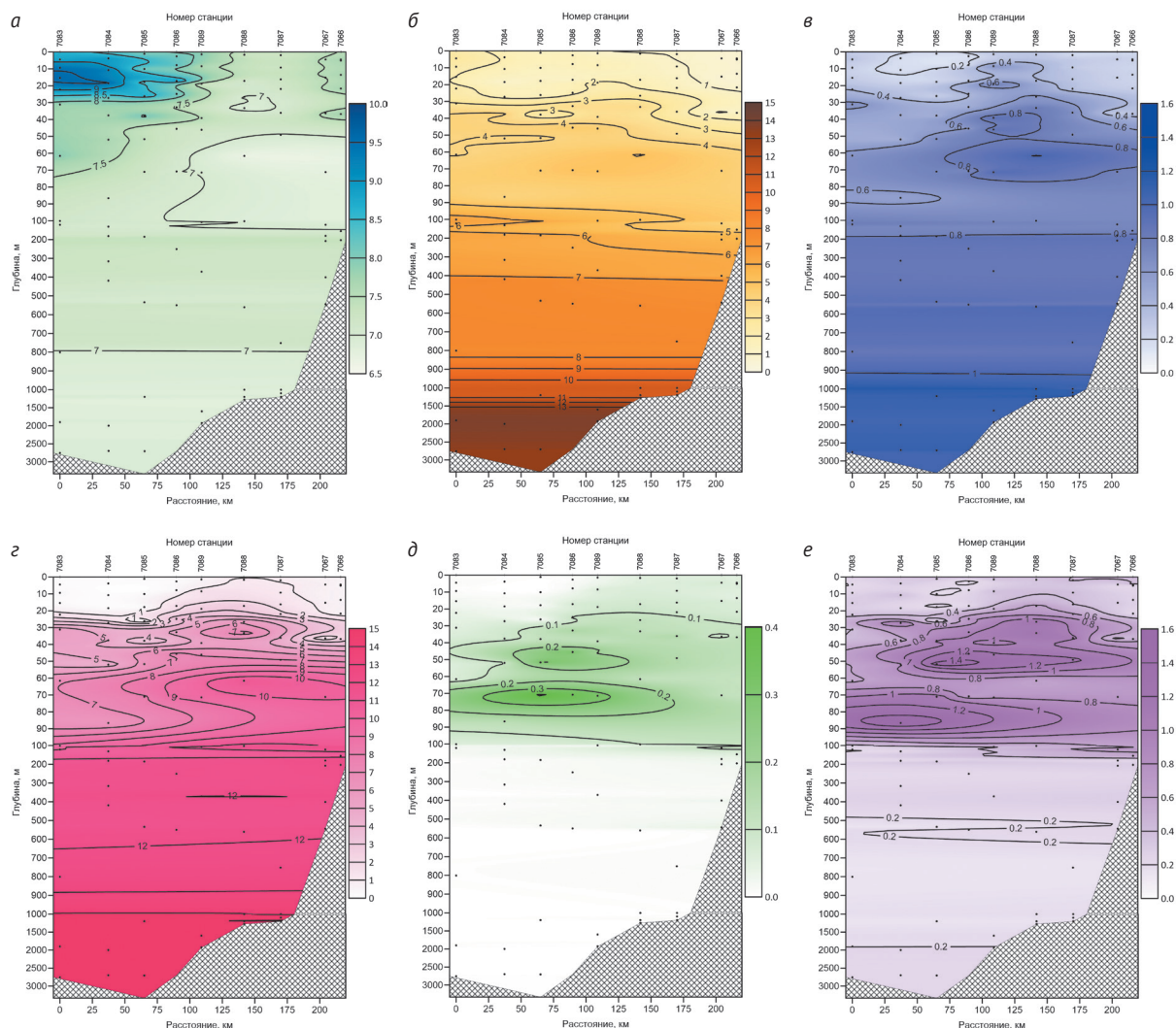


Рис. 2. Вертикальное распределение концентраций: а – растворенного кислорода, мл/л; б – Si, мкМ; в – P-PO₄, мкМ; г – N-NO₃, мкМ; д – N-NO₂, мкМ; е – N-NH₄, мкМ на разрезе № 1
 Fig. 2. Vertical distribution of concentrations: а – dissolved oxygen, ml/l; б – Si, µM; в – P-PO₄, µM; г – N-NO₃, µM; д – N-NO₂, µM; е – N-NH₄, µM at transect no. 1

(~300 м) — в Баренцевом море: над трогами Орли, Эрик-Эриксен и в районе пролива между островами Белый и Виктория.

Отбор проб воды проводился батометрами емкостью 5 л в составе зондирующего комплекса SBE 911plus с розеткой SBE 32 Carousel Water Sampler в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб». В первую очередь из батометров для определения содержания растворенного кислорода отбирались пробы воды в заранее откалиброванные кислородные склянки, где кислород незамедлительно фиксировался. Затем отбирались пробы воды для определения содержания аммонийного азота непосредственно в стеклянные цилиндры, в которых проводился анализ. Отбор проб для определения концентраций остальных биогенных элементов (кремния, фосфатов, нитритов, нитратов) производили в пластиковые емкости объ-

емом 1 л. Пробы не консервировались и анализировались в кратчайшие сроки после отбора.

Концентрацию растворенного кислорода определяли методом титрования по Винклеру. Количественный анализ биогенных элементов выполняли стандартными фотометрическими методами [16; 17].

Результаты

Разрез № 1 в Гренландском море от Земли принца Карла по хребту Вестнеса. На разрезе в Гренландском море пространственная изменчивость концентраций растворенного кислорода наблюдается преимущественно в верхнем 200-метровом слое (рис. 2а). В его юго-восточной части, подверженной влиянию теплых и соленых атлантических вод, на глубинах 40–200 м концентрация кислорода не превышает 7,00 мл/л. В то же время в северо-западной части, прилегающей к кромке

льда, распространены талые воды с повышенным содержанием кислорода (более 8,00 мл/л), которое прослеживается от поверхности до глубины 30 м. На этих же глубинах с юго-восточной стороны также зафиксировано увеличение концентрации кислорода, вероятно, связанное с материковым ледниковым стоком. Ниже 200 м концентрация растворенного кислорода демонстрирует незначительную изменчивость, находясь в диапазоне 6,83—7,37 мл/л [18]. Концентрации кремния Si на рассматриваемом разрезе изменялись в диапазоне 0,46—13,10 мкМ с тенденцией увеличения ко дну. На глубинах до 60 м отмечается рост концентрации Si при движении от архипелага к кромке льда (рис. 26). Концентрации фосфора фосфатного $P-PO_4$ изменялись от 0,13 до 1,09 мкМ, также увеличиваясь ко дну. В юго-восточной части разреза на глубинах 40—200 м, где присутствуют теплые и соленые атлантические воды, отмечаются воды с повышенным содержанием $P-PO_4$ (до 0,80 мкМ) по сравнению с окружающими водами в этом слое (рис. 2в). Концентрации азота нитратного $N-NO_3$ также увеличивались ко дну, изменяясь от 0,14 до 14,42 мкМ. Как и в случае $P-PO_4$, содержание $N-NO_3$ несколько растет в области распространения атлантических вод (рис. 2г). Нитритный азот $N-NO_2$ обнаружен только в слое 20—100 м (0,10—0,35 мкМ) (рис. 2д). Содержание аммонийного азота $N-NH_4$ изменялось в диапазоне 0,09—1,12 мкМ, а его максимальные концентрации отмечались в слое 20—100 м (рис. 2е).

Разрез № 2 в Северном Ледовитом океане от пролива Хинлопен на север. Вертикальное распределение концентраций растворенного кислорода на втором разрезе в целом аналогично наблюдавшемуся на первом разрезе, однако талые распресненные воды здесь занимают больший объем (рис. 3а). Концентрации кислорода выше 8,00 мл/л отмечаются от поверхности до глубины 30 м в прибрежной зоне архипелага и до 60 м вблизи кромки льда. На глубинах 100—200 м в южной части разреза сохраняется присутствие погружающихся атлантических вод, характеризующихся более низкими концентрациями кислорода (менее 7,00 мл/л). Ниже 200 м содержание кислорода стабилизируется и варьирует в узком диапазоне от 6,89 до 7,44 мл/л [18]. Концентрации Si на втором разрезе в среднем были несколько выше, чем на первом и варьировались в диапазоне 0,57—14,81 мкМ с тенденцией увеличения ко дну. На глубинах до 80 м так же, как и на первом разрезе, можно отметить рост концентрации Si при движении от архипелага к кромке льда (рис. 3б). Концентрации $P-PO_4$ и $N-NO_3$ постепенно увеличивались от поверхности до дна, изменяясь в диапазонах 0,15—1,66 мкМ и 0,08—15,14 мкМ соответственно (рис. 3в и 3г). Воды с содержанием $N-NO_2$ выше аналитического нуля обнаружены только в слое 40—200 м, причем на юге разреза близ архипелага концентрации $N-NO_2$ возрастают до более 0,20 мкМ (рис. 3д). Содержание $N-NH_4$ из-

менялось в диапазоне 0,15—1,58 мкМ, а его максимальные концентрации также отмечались на юге разреза (рис. 3е).

Разрезы в Баренцевом море. Для трех разрезов, заложенных в Баренцевом море на востоке от Шпицбергена, в целом характерно постепенное снижение концентраций растворенного кислорода от поверхностных слоев к придонным, а также наличие подповерхностных максимумов (рис. 4а, 5а, 6а). Воды, обогащенные растворенным кислородом ($> 8,50$ мкМ), распространяются в северной части разреза № 3 от поверхности до 30 м, к югу разреза данный слой заглубляется и сужается, занимая глубины 20—30 м. На разрезе № 5, который располагается параллельно третьему, слой воды с концентрациями растворенного кислорода более 8,50 мкМ прослеживается от поверхности до глубины 30 м в северной части, заглубляясь к югу до слоя 10—40 м. Примечательно, что на разрезе № 5 четко фиксируется распространение вод с еще более высокими концентрациями кислорода (9,00—9,97 мл/л), что является признаком холодных распресненных арктических вод, интродуцируемых в Баренцево море из Арктического бассейна. На разрезе № 4, ориентированном в широтном направлении между рассмотренными ранее разрезами, также наблюдаются сужение и погружение кислородобогащенного слоя в направлении с северо-востока на юго-запад: его границы изменяются от 0—35 до 15—30 м соответственно [18]. На всех трех рассматриваемых мелководных разрезах концентрации Si (рис. 4б, 5б, 6б), $P-PO_4$ (рис. 4в, 5в, 6в) и $N-NO_3$ (рис. 4г, 5г, 6г) изменялись в целом единообразно — увеличивались от поверхности до дна. Различия в содержании Si и $N-NO_3$ прослеживаются только в поверхностных 50 м, воды с пониженными концентрациями Si заглубляются с запада на восток. Судя по вертикальному распределению $P-PO_4$, на третьем и пятом разрезах севернее четвертого разреза и параллельно ему распространяются воды, обогащенные фосфором ($> 1,00$ мкМ), на такое предположение наталкивают результаты на станциях № 7094, 7100 и 7101. Концентрации $N-NO_2$ и $N-NH_4$ минимальны в поверхностном слое и у дна. Судя по рис. 4д, 5д, 6д, воды с относительно повышенным ($> 0,20$ мкМ) содержанием $N-NO_2$ распространяются в промежуточном слое с юга на север. Максимальные концентрации $N-NH_4$ ($> 1,20$ мкМ) отмечаются в центральной части пятого разреза (рис. 4е, 5е, 6е).

Обсуждение

Все исследованные разрезы расположены в Северо-Европейском и Арктическом бассейнах Северного Ледовитого океана. Гидрологический режим этой акватории формируется под влиянием различных водных масс и систем течений, что, как показано в [18], определяет про-

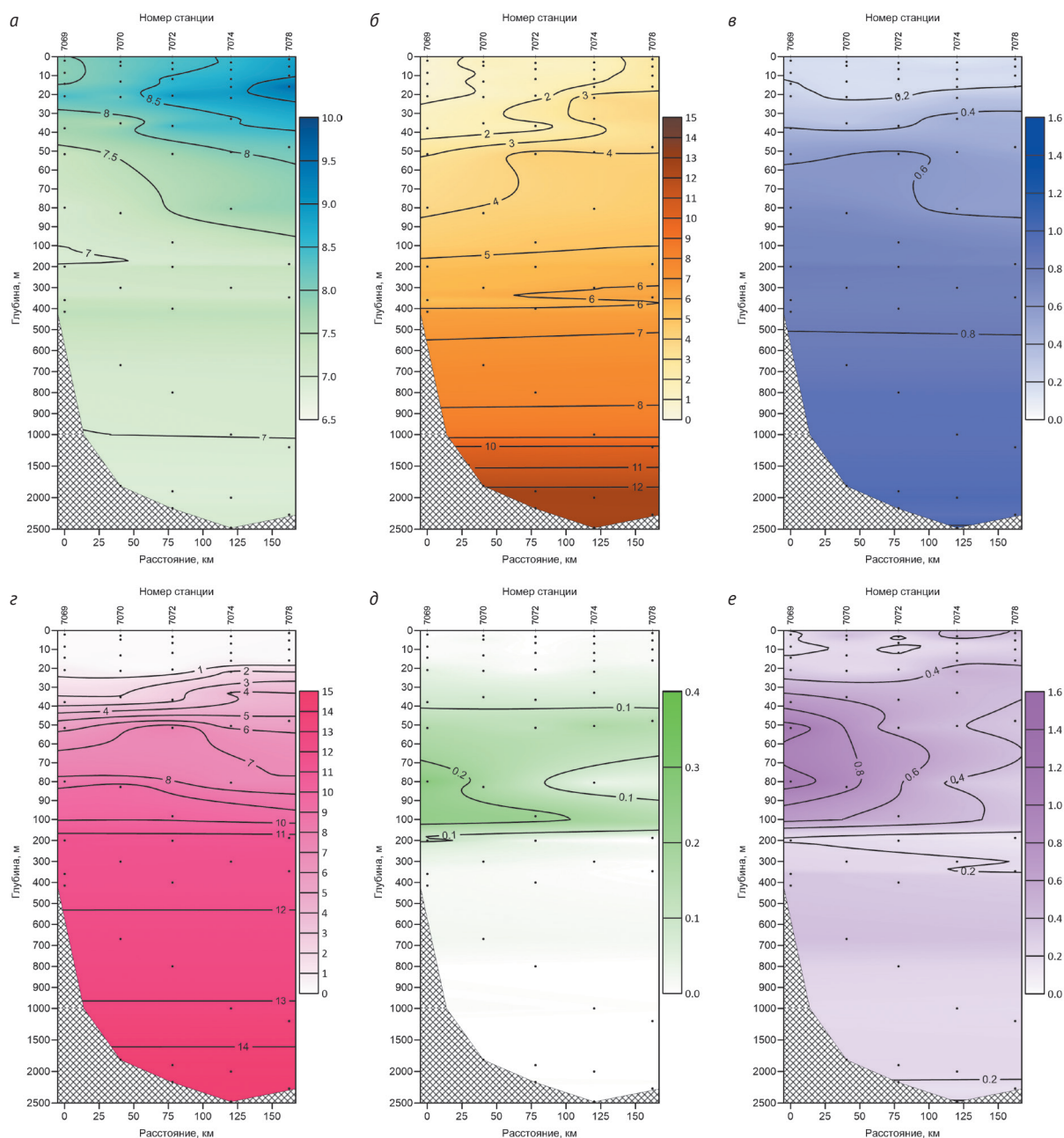


Рис. 3. Вертикальное распределение концентраций: а – растворенного кислорода, мл/л; б – Si, мкМ; в – P-PO₄, мкМ; з – N-NO₃, мкМ; д – N-NO₂, мкМ; е – N-NH₄, мкМ на разрезе № 2
Fig. 3. Vertical distribution of concentrations: а – dissolved oxygen, ml/l; б – Si, µM; в – P-PO₄, µM; з – N-NO₃, µM; д – N-NO₂, µM; е – N-NH₄, µM at transect no. 2

странственную неоднородность в распределении растворенного кислорода. К западу и северу от архипелага Шпицберген наблюдается адвекция теплых и соленых атлантических вод в структуре Западно-Шпицбергенского течения, характеризующихся пониженным содержанием растворенного кислорода (< 7,00 мл/л). С противоположной стороны, с севера и северо-запада, происходит распространение холодных распресненных талых вод от кромки льда, что фиксируется по повышенным концентрациям кислорода (> 8,00 мл/л) в поверх-

ностном слое. Глубже 200 м концентрация растворенного кислорода демонстрирует минимальную пространственную изменчивость. В восточном секторе обследованной акватории, в водах Баренцева моря, вертикальная изменчивость концентрации растворенного кислорода отличается. Влияние атлантических вод здесь не прослеживается. Разрезы расположены к северу от полярного фронта в зоне доминирования холодных опресненных арктических водных масс, обогащенных растворенным кислородом. Наиболее ярко это выражено на

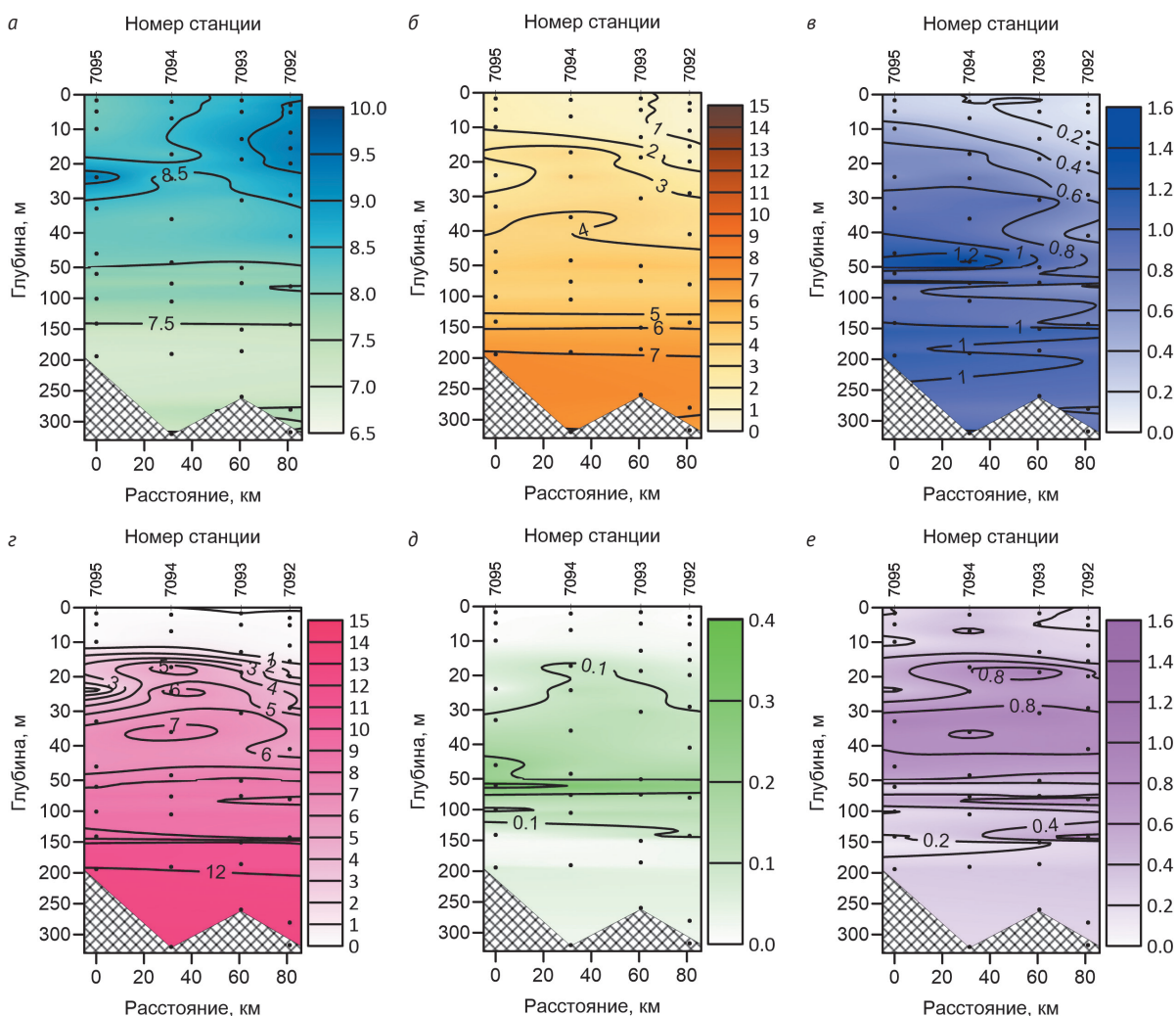


Рис. 4. Распределение концентраций: а – растворенного кислорода, мл/л; б – Si, мкМ; в – P-PO₄, мкМ; г – N-NO₃, мкМ; д – N-NO₂, мкМ; е – N-NH₄, мкМ на разрезе № 3
Fig. 4. Vertical distribution of concentrations: а – dissolved oxygen, ml/l; б – Si, μM; в – P-PO₄, μM; г – N-NO₃, μM; д – N-NO₂, μM; е – N-NH₄, μM at transect no. 3

самом восточном разрезе № 5, где концентрации кислорода в поверхностном слое достигают экстремально высоких значений 9,00—9,97 мл/л [18].

После описания профилей распределения концентраций биогенных элементов стало очевидно, что для всех пяти разрезов характерны общие черты, по которым рассматриваемую водную толщу условно можно разделить на три слоя: поверхностный, промежуточный и глубинный (табл. 1).

Для вертикального распределения концентраций кремния, фосфора фосфатного и азота нитратного характерно постепенное их увеличение с глубиной, а максимальные концентрации азота нитритного и аммонийного наблюдаются в промежуточном слое водной толщи. Полученные вертикальные распределения соответствуют общеизвестным распределениям в Мировом океане, которые обусловлены процессами фотосинтеза и минерализации органического вещества [19], а влияние внешних абиотиче-

ских факторов не вносит существенных искажений. Судя по результатам, описанным выше, атлантические воды приносят в рассматриваемый регион воды, обогащенные фосфатами и нитратами, что видно на первом разрезе, однако при прохождении вдоль архипелага данные воды расходуют запасы биогенов и на севере уже не прослеживаются.

Стремящиеся к нулю концентрации биогенных элементов в эвфотической зоне указывают на то, что в период проведения работ имело место окончание летней сезонной сукцессии, как и в августе 2020 г. [20]. Хотя в 1997 г. такие условия в Баренцевом море наблюдались позже — в сентябре-октябре [21], что потенциально может указывать на смещение сезонных циклов. Однако для однозначного и статистически значимого подтверждения тренда, вызванного климатическими изменениями, объема имеющихся в настоящее время гидрохимических данных по данной акватории недостаточно.

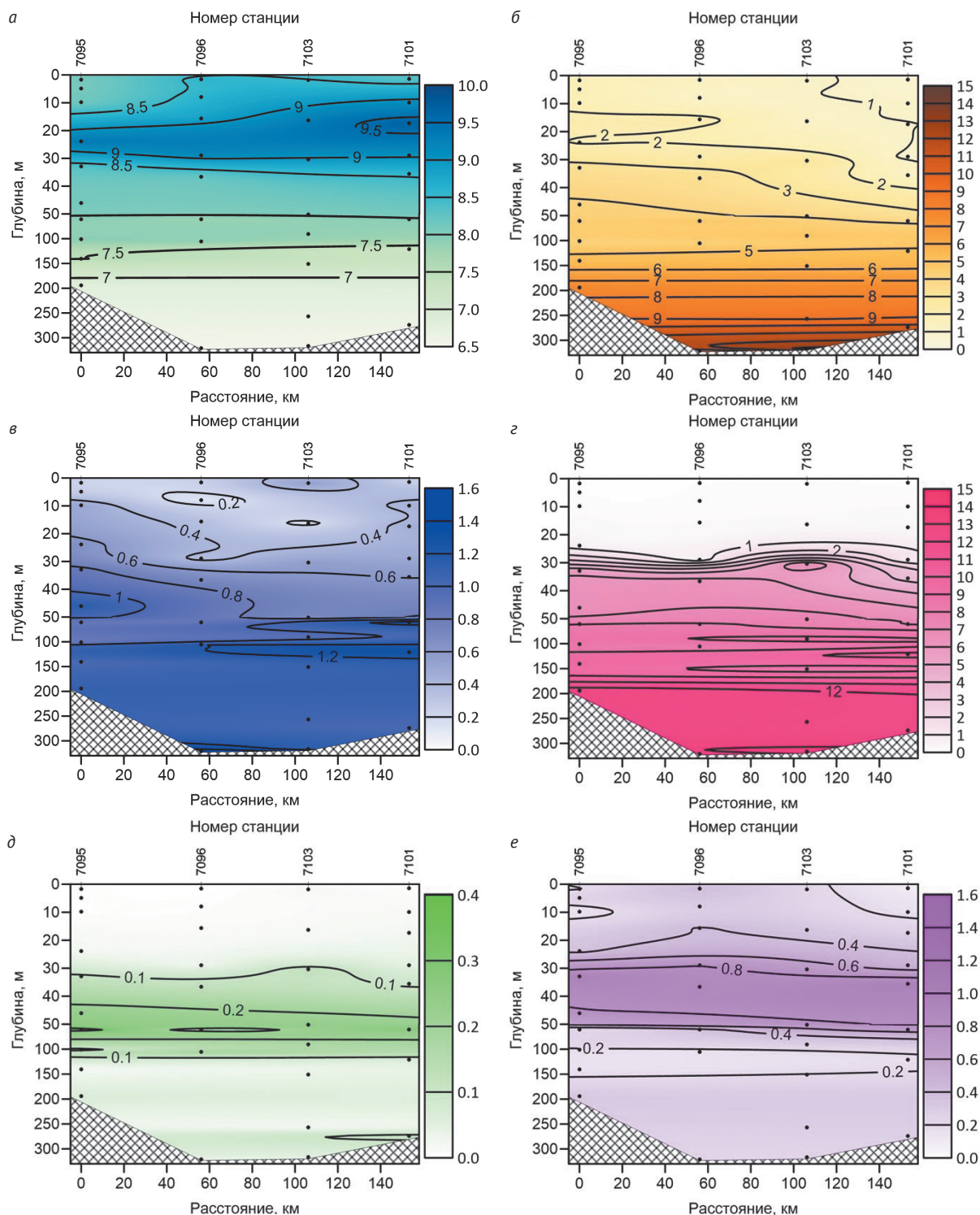


Рис. 5. Вертикальное распределение концентраций: а – растворенного кислорода, мл/л; б – Si, мкМ; в – P-PO₄, мкМ; г – N-NO₃, мкМ; д – N-NO₃, мкМ; е – N-NH₄, мкМ на разрезе № 4
Fig. 5. Vertical distribution of concentrations: а – dissolved oxygen, ml/l; б – Si, µM; в – P-PO₄, µM; г – N-NO₃, µM; д – N-NO₃, µM; е – N-NH₄, µM at transect no. 4

Выводы

1. В результате проведенного исследования получены уникальные гидрохимические данные для открытой акватории европейской Арктики, омы-

вающей архипелаг Шпицберген, являющиеся «моментальным снимком» состояния среды в летний период 2021 г. Однако именно эти количественные данные о концентрациях кислорода и биогенных

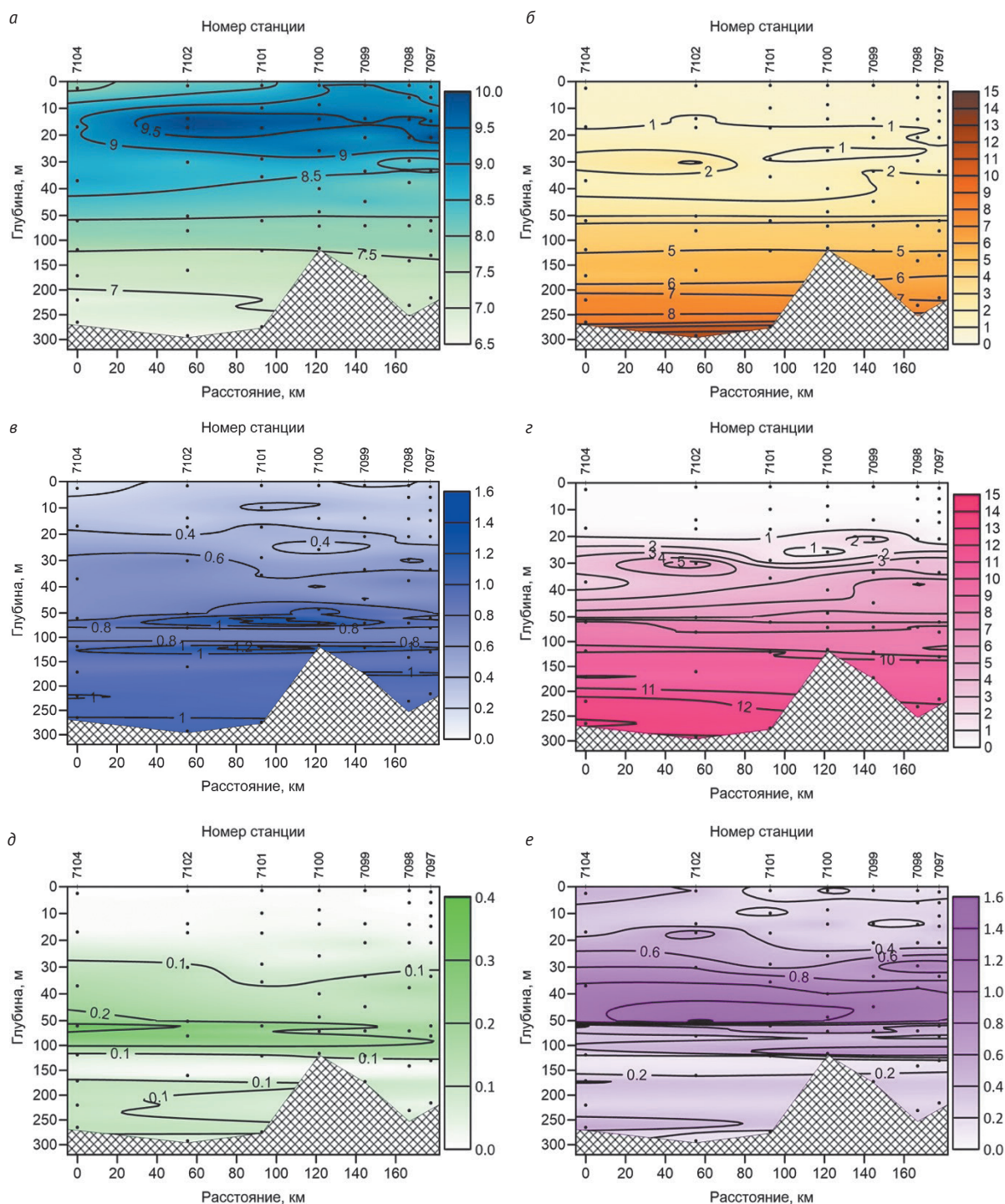


Рис. 6. Вертикальное распределение концентраций: а — растворенного кислорода, мл/л; б — Si, мкМ; в — P-PO₄, мкМ; з — N-NO₃, мкМ; д — N-NO₂, мкМ; е — N-NH₄, мкМ на разрезе № 5
Fig. 6. Vertical distribution of concentrations: а — dissolved oxygen, ml/l; б — Si, μM; в — P-PO₄, μM; з — N-NO₃, μM; д — N-NO₂, μM; е — N-NH₄, μM at transect no. 5

элементов могут быть использованы для верификации и настройки математических моделей циркуляции вод и биопродуктивности, поскольку только на основе точных полевых измерений можно строить достоверные прогнозы происходящих в Арктике изменений.

2. Выявлены четкие различия в распределении растворенного кислорода между водами атлантического и арктического происхождения. Для первых характерны пониженные концентрации растворенного кислорода (< 7,00 мл/л), для вторых — повышенные (> 8,00 мл/л).

Таблица 1. Концентрации биогенных элементов по слоям водной толщи

Table 1. Concentrations of nutrients by layers of the water column

Слой	n	Si, мкМ	P-PO ₄ , мкМ	N-NO ₃ , мкМ	N-NO ₂ , мкМ	N-NH ₄ , мкМ
Поверхностный (0—30 м)	113	0,46—3,95 1,14	0,10—0,80 0,25	0—6,91 0,23	0—0,13 0,01	0,09—1,19 0,28
Промежуточный (31—100 м)	70	0,80—8,07 3,92	0,26—1,43 0,70	0,87—10,90 6,72	0,04—0,41 0,15	0,22—1,58 0,74
Глубинный (101—дно)	94	4,06—14,81 6,52	0,71—1,66 0,91	7,97—15,14 11,60	0—0,36 0,02	0,09—1,30 0,22

Примечания. 1. В числителе указан диапазон изменчивости, в знаменателе — медиана. 2. n — объем выборки.

Notes. 1. The numerator indicates the range of variability, the denominator indicates the median. 2. n — sample size.

3. Установлено, что вертикальные распределения биогенных элементов на исследуемой акватории следуют классической схеме, обуславливаемой исключительно биохимическими процессами. Для концентраций кремния, минерального фосфора и азота нитратного характерно постепенное увеличение с глубиной. Максимальные концентрации азота нитритного и аммонийного наблюдаются в промежуточном слое.

4. В рассматриваемой водной толще условно выделено три слоя: поверхностный, промежуточный и глубинный. Основные различия между разрезами наблюдаются в поверхностном и промежуточном слоях. Глубинные слои различаются только мощностью.

5. Зафиксированы признаки окончания летней сезонной сукцессии в исследуемый период (июль-август 2021 г.), о чем свидетельствуют крайне низкие концентрации биогенных элементов в эвфотической зоне, что в целом согласуется с современными тенденциями олиготрофирования арктических вод.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для Института океанологии РАН (тема № FMWE-2024-0020).

Благодарность

Авторы выражают признательность гидрологическому отряду (Н. А. Демиденко, И. А. Замятин, А. С. Шука) и начальнику 84-го рейса М. Д. Кравчишиной, а также всему экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Литература/References

1. Juranek L. W. Changing biogeochemistry of the Arctic Ocean: Surface nutrient and CO₂ cycling in a warming, melting north. *Oceanography*, 2022, vol. 35, no. 3—4, pp. 144—155. DOI: 10.5670/oceanog.2022.120.
2. Ardyna M., Arrigo K. R. Phytoplankton dynamics in a changing Arctic Ocean. *Nature Climate Change*, 2020, vol. 10, pp. 892—903. DOI: 10.1038/s41558-020-0905-y.

3. Arrigo K. R., van Dijken G. L. Continued increases in Arctic Ocean primary production. *Progress in Oceanography*, 2015, vol. 136, pp. 60—70. DOI: 10.1016/j.pcean.2015.05.002.
4. Henley S. F., Porter M., Hobbs L. et al. Nitrate supply and uptake in the Atlantic Arctic Sea ice zone: seasonal cycle, mechanisms and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2020, vol. 378, p. 20190361. DOI: 10.1098/rsta.2019.0361.
5. Vancoppenolle M., Bopp L., Madec G. et al. Future Arctic Ocean primary productivity from CMIP5 simulations: Uncertain outcome, but consistent mechanisms. *Global Biogeochemical Cycles*, 2013, vol. 27, iss. 3, pp. 605—619. DOI: 10.1002/gbc.20055.
6. Ko E., Gorbunov M. Y., Jung J. et al. Effects of nitrogen limitation on phytoplankton physiology in the western Arctic Ocean in summer. *Geophysical Research: Oceans*, 2020, vol. 125, p. e2020JC016501. DOI: 10.1029/2020jc016501.
7. Mills M. M., Brown Z. W., Laney S. R. et al. Nitrogen limitation of the summer phytoplankton and heterotrophic prokaryote communities in the Chukchi Sea. *Frontiers in Marine Science*, 2018, vol. 5, art. 362. DOI: 10.3389/fmars.2018.00362.
8. Krisch S., Browning T. J., Graeve M. et al. The influence of Arctic Fe and Atlantic fixed N on summertime primary production in Fram Strait North Greenland Sea. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, p. 15230. DOI: 10.1038/s41598-020-72100-9.
9. Duarte P., Meyer A., Moreau S. Nutrients in water masses in the Atlantic sector of the Arctic Ocean: Temporal trends, mixing and links with primary production. *J. of Geophysical Research: Oceans*, 2021, vol. 126, iss. 8, p. e2021JC017413. DOI: 10.1029/2021JC017413.
10. Zhuang Y., Jin H., Cai W.-J. et al. Freshening leads to a three-decade trend of declining nutrients in the western Arctic Ocean. *Environmental Research Letters*, 2021, vol. 16, p. 054047. DOI: 10.1088/1748-9326/abf58b.
11. Walczowski W., Piechura J., Goszczko I. et al. Changes in Atlantic water properties: an important factor in the European Arctic marine climate. *ICES J. of Marine*

- Science, 2012, vol. 69, pp. 864—869. DOI: 10.1093/icesjms/fss068.
12. Маккавеев П. Н., Полухин А. А., Налбандов Ю. Р. и др. Динамика биогенных элементов в Енисейском заливе в период открытой воды // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 4 (36). — С. 69—82. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-69-82.
- Makkaveev P. N., Polukhin A. A., Nalbandov Yu. R. et al. Dynamics of nutrients in the Yenisei Gulf during the open water period. Arctic: Ecology and Economy, 2019, no. 4 (36), pp. 69—82. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-69-82. (In Russian).
13. Маккавеев П. Н., Полухин А. А., Хлебопашев П. В. Поверхностный сток биогенных элементов с берега залива Благополучия (архипелаг Новая Земля) // Океанология. — 2013. — Т. 53, № 5. — С. 610—617. — DOI: 10.7868/S0030157413050110.
- Makkaveev P. N., Polukhin A. A., Khlebopashev P. V. Surface runoff of biogenic elements from the coast of Blagopoluchiya Bay (Novaya Zemlya archipelago). Oceanology, 2013, vol. 53, no. 5, pp. 610—617. DOI: 10.7868/S0030157413050110.
14. Маккавеев П. Н., Стунжас П. А., Мельникова З. Г. и др. Гидрохимическая характеристика вод западной части Карского моря // Океанология. — 2010. — Т. 50, № 5. — С. 730—739.
- Makkaveev P. N., Stunzhas P. A., Melnikova Z. G. et al. Hydrochemical characteristics of the waters of the western part of the Kara Sea. Oceanology, 2010, vol. 50, no. 5, pp. 730—739. (In Russian).
15. Погожева М. П., Якушев Е. В., Петров И. Н. и др. Экспериментальное исследование влияния таяния многолетней мерзлоты на содержание биогенных элементов и тяжелых металлов в морской воде при абразионном разрушении арктических берегов // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 1. — С. 67—75. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-67-75.
- Pogojeva M. P., Yakushev E. V., Petrov I. N. et al. Experimental study of the permafrost thawing effect on the content of nutrients and heavy metals in seawater during abrasion destruction of the Arctic coast. Arctic: Ecology and Economy, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 67—75. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-67-75. (In Russian).
16. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. — М.: Изд-во ВНИРО, 2003. — 202 с.
- Guidelines for the chemical analysis of marine and fresh waters in the course of ecological monitoring of fishery reservoirs and areas of the World Ocean that are promising for fishing. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2003, 202 p. (In Russian).
17. Современные методы гидрохимических исследований океана. — М.: ИО РАН, 1992. — 200 с.
- Modern methods of hydrochemical research of the ocean. Moscow, IO of RAS, 1992, 200 p. (In Russian).
18. Нецветова О. П. Растворенный кислород в водах Европейской Арктики летом 2021 г. // Труды XI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2022)». — Т. II (IV). — Тверь: ООО «ПоліПРЕСС», 2022. — С. 50—54.
- Netsvetaeva O. P. Dissolved oxygen in the waters of the European Arctic in summer 2021. Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference “Marine Research and Education (MARESEDU-2022)”. Vol. II (IV). Tver, OOO “PoliPRESS”, 2022, pp. 50—54. (In Russian).
19. Алекин О. А., Ляхин Ю. И. Химия океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 344 с.
- Alekin O. A., Lyakhin Yu. I. Ocean chemistry. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1984, 344 p. (In Russian).
20. Кудрявцева Е. А., Русанов И. И., Кравчишина М. Д. и др. Первично-продукционные характеристики экосистем европейской Арктики в августе 2020 г. // Геология морей и океанов: Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. — Т. III. — М.: ИО РАН, 2022. — С. 205—209.
- Kudryavtseva E. A., Rusanov I. I., Kravchishina M. D. et al. Primary production characteristics of ecosystems of the European Arctic in August 2020. Geology of the seas and oceans: Proceedings of the XXIV International Scientific Conference (School) on Marine Geology. Vol. III. Moscow, IO of RAS, 2022, pp. 205—209. (In Russian).
21. Ведерников В. И., Гагарин В. И. Первичная продукция и хлорофилл в Баренцевом море в сентябре-октябре 1997 г. // Океанология. — 1998. — Т. 38, № 5. — С. 693—703.
- Vedernikov V. I., Gagarin V. I. Primary production and chlorophyll in the Barents Sea in September–October 1997. Oceanology, 1998, vol. 38, no. 5, pp. 693—703. (In Russian).

Информация об авторах

Нецветова Ольга Петровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией геохимических исследований, Северо-Западное отделение, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский просп., д. 36), e-mail: netsvetaeva.op@ocean.ru.

Торгунова Надежда Ивановна, научный сотрудник, лаборатория биогидрохимии, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский просп., д. 36).

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE EUROPEAN ARCTIC WATERS IN THE SUMMER OF 2021

Netsvetaeva, O. P., Torgunova, N. I.

Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on May 30, 2025

For citing

Netsvetaeva O. P., Torgunova N. I. Hydrochemical characteristics of the European Arctic waters in the summer of 2021. Arctic: Ecology and Economy, 2025, vol. 15, no. 4, pp. 533—543. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-4-533-543. (In Russian).

Abstract

The article presents the results of studies of the hydrochemical structure of waters in the European Arctic around Svalbard. The data used in the work were obtained from the 84th voyage of the R/V Akademik Mstislav Keldysh in July–August 2021. A total of five transects were considered west, north, and east of Svalbard (Spitsbergen). Concentrations of dissolved oxygen, silicon, phosphate phosphorus, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen and ammonium nitrogen were determined. Marked differences in dissolved oxygen distribution were identified between waters of Atlantic and Arctic origin. Surface, intermediate and deep layers were selected throughout the entire water column. Concentrations of silicon, mineral phosphorus and nitrate nitrogen gradually increase with depth. Maximum concentrations of nitrite and ammonium nitrogen are observed in the intermediate layer. It is noted that despite significant differences in the depth of the transects, the main changes occur in the surface and intermediate layers. Nutrient depletion in surface waters was reported in August for the second consecutive year.

Keywords: *European Arctic, Svalbard (Shpitsbergen), dissolved oxygen, nutrients, hydrochemical structure.*

Funding

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for Institute of Oceanology of RAS (theme No. FMWE-2024-0020).

Acknowledgements

The authors are grateful to the hydrological team (N. A. Demidenko, I. A. Zamyatin, A. S. Shchuka) and the head of the 84th voyage M. D. Kravchishina, as well as the entire crew of the R/V Akademik Mstislav Keldysh.

Information about the authors

Netsvetaeva, Olga Petrovna, PhD of Geography, Senior Researcher, Head of Laboratory, Geochemical Research Laboratory, North-West Branch, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (36, Nakhimovskiy Prospect, Moscow, Russia, 117997), e-mail: netsvetaeva.op@ocean.ru.

Torgunova, Nadezhda Ivanovna, Researcher, Bio-Hydrochemistry Laboratory, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (36, Nakhimovskiy Prospect, Moscow, Russia, 117997).

© Netsvetaeva O. P., Torgunova N. I., 2025