

УДК 551.465

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОД В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ОСЕНЬЮ 2015 г.

© 2017 г. С. В. Степанова¹, А. А. Полухин¹, А. В. Костылева²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Геленджик, Краснодарский край, Россия

e-mail: s.stepanova87@gmail.com

Поступила в редакцию 21.09.2016 г.

Исследование моря Лаптевых входило в программу 63-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”. На разрезе по 130° в.д. (8–14 сентября 2015 г.) от приустьевых районов р. Лена на траверзе г. Тикси до континентального склона (более 700 км) отбирались пробы воды для изучения гидрохимической структуры вод и воздействия на нее стока из р. Лена. По полученным данным удалось установить, что влияние пресных вод на поверхностный слой моря крайне высоко и прослеживается на большом расстоянии от дельты реки. Отмечено неконсервативное распределение некоторых гидрохимических параметров в зоне смешения. Концентрация биогенных элементов в поверхностном слое, а также высокая мутность могли послужить лимитирующими факторами в развитии фитопланктонного сообщества.

DOI: 10.7868/S003015741701018X

ВВЕДЕНИЕ

Большой объем материкового стока, суровость климата, свободный водообмен с Северным Ледовитым океаном, круглогодично существующие льды на значительной части акватории определяют на гидрохимические условия моря Лаптевых. Это, прежде всего, сказывается на пространственно-временной изменчивости гидрохимических характеристик. Море отличается большой контрастностью и неоднородностью гидрохимической структуры.

Большое влияние на гидрохимическую структуру моря, безусловно, оказывает сток реки Лены. По данным [14] относительный вклад Лены в общий пресный материковый сток в Северный Ледовитый океан составляет приблизительно 20% (525 км³/год). В результате речной сток, аналогично Карскому морю, распространяется на значительные расстояния.

В данной работе представлены основные результаты гидрохимических исследований в приустьевой области р. Лены в сентябре 2015 г. Основной задачей гидрохимических исследований стала характеристика абiotической составляющей экосистем (растворенный кислород, основные биогенные элементы, неорганические соединения углерода) при биологических исследованиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Гидрохимические исследования проводились в сентябре 2015 г. (63-й рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш”). Разрез проходил по 130.30° в.д. между 72° и 78° с.ш. Всего на разрезе было сделано 14 станций с помощью кассеты батометров Rosette, также оснащенной STD-зондом (данные по температуре и солености предоставлены начальником гидрологического отряда, к.ф.-м.н. С.А. Щука). Схема расположения станций приведена на рис. 1.

Отряд гидрохимии провел широкий спектр работ по определению основных гидрохимических параметров в отобранных пробах воды: содержания растворенного кислорода, величины рН, общей щелочности, содержания минерального фосфора, общего фосфора, растворенного кремния, нитритного азота, нитратного азота, аммонийного азота и общего растворенного азота. Также, используя значения величины рН и общей щелочности, рН-*Alk* методом [13] были рассчитаны параметры карбонатной системы вод, (общий растворенный неорганический углерод, концентрация карбонат-иона, а также содержание и парциальное давление углекислого газа). Гидрохимические параметры определялись в судовой лаборатории стандартными, принятыми в российской океанологии, методами [4, 5].

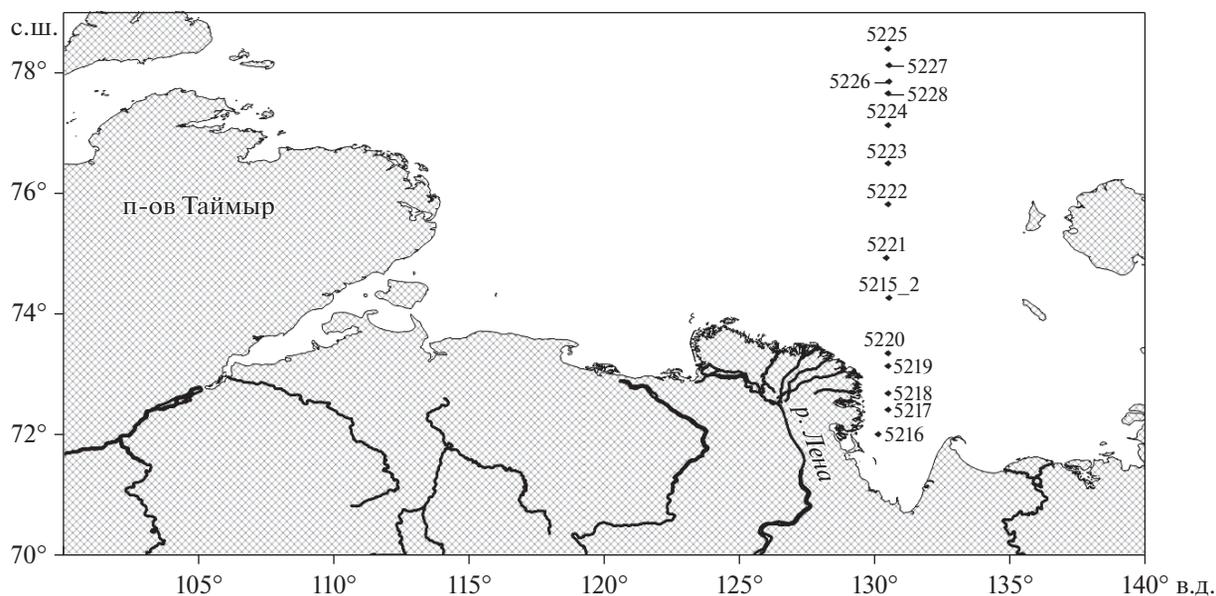


Рис. 1. Расположение станций на разрезе в море Лаптевых.

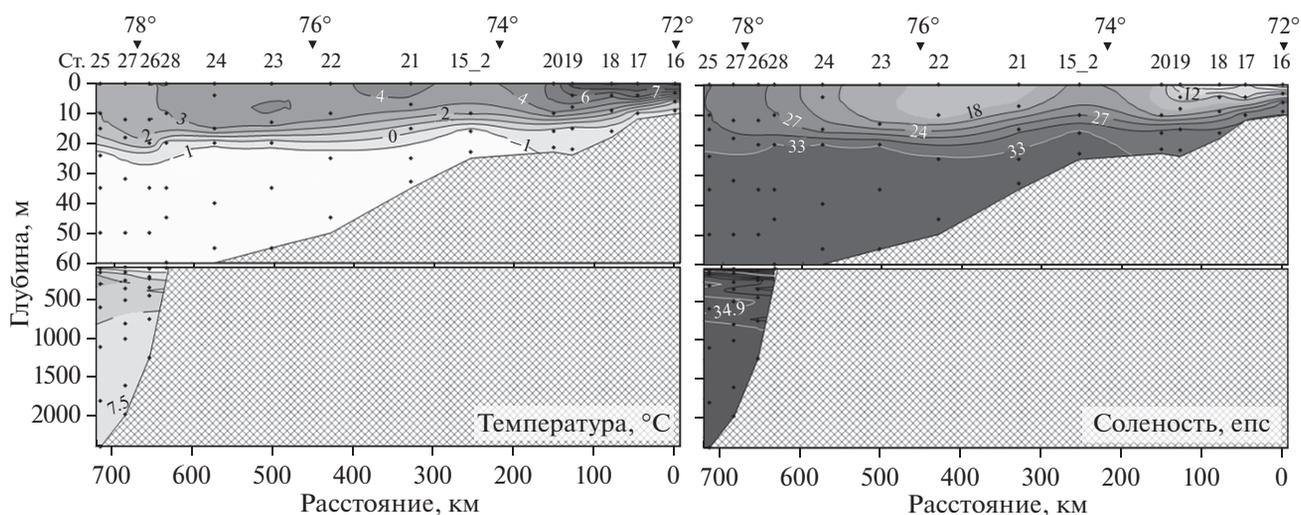


Рис. 2. Распределение температуры и солености на разрезе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрохимическая структура вод тесно зависит от распределения температуры и (рис. 2). На станциях 5216–5219 наблюдался тонкий (менее 5 м) сильно опресненный слой с соленостью менее 10 епс и температурой 6–8°C. Между станциями 5220 и 5219 в поверхностном слое четко выражена граница, отделяющая этот слой от вод с соленостью около 18–20 епс и более и температурой 2–4°C. Граница, определяющая область прямого влияния речного стока, расположена между станциями 5224 и 5228 (изогалина 24 епс). Эта область находится над бровкой шельфа, и к ней привязана фронтальная зона, выделяющаяся не только

по гидрофизическим и гидрохимическим, но и биологическим характеристикам. На ст. 5215_2 наблюдается присутствие более соленых вод, в результате чего опресненная область разделена на две части. Это может быть связано с интрузией более соленых вод или, что более вероятно с орographicким апвеллингом вод. Глубина залегания слоя скачка гидрофизических параметров хотя и сильно варьировала от станции к станции, в целом увеличивалась с юга на север по мере усиления влияния морских вод от 3–4 м до 15 м. В придонном слое соленость достигала 30 епс на станциях 5216–5219 и 33 епс на станциях 5215_2 – 5225, температура глубже 20 м горизонта была ни-

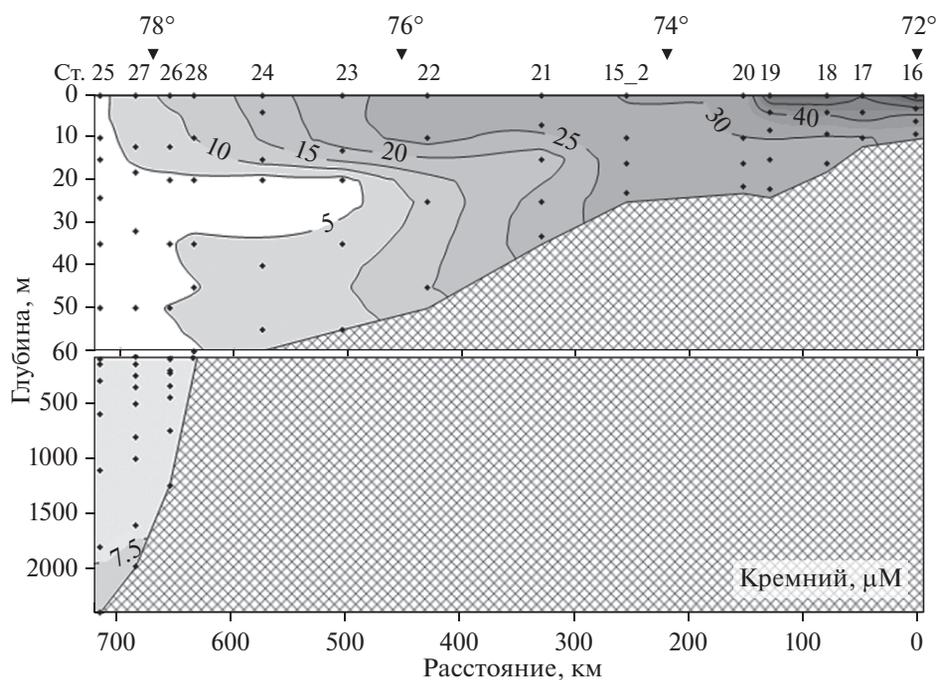


Рис. 3. Распределение растворенного кремния на разрезе.

же 0°C . Исключение составили глубоководные станции 5225–5227, где температура слоя от 140 м до 1 км была выше 0°C , а в ядре этой водной массы — $+1.55^{\circ}\text{C}$ (горизонт 300 м). В распределении солёности на глубоководных станциях после слоя скачка отмечается плавное увеличение параметра от 33.5 до 34.8 епс, в ядре теплой водной массы солёность увеличивается до 34.9 епс. Ниже, в придонном слое составляет величина солёности составляет 34.94 епс. Такая структура вод в глубинных слоях позволяет сделать предположение о присутствии здесь вод атлантического происхождения,двигающихся из Северной Атлантики через Баренцево и Карское моря вдоль склона континентального шельфа [10–12].

Влияние речного стока в большей или меньшей степени отражается на распределении всех гидрохимических параметров, особенно величины общей щёлочности (*Alk*) и растворенного кремния, которые служат хорошими элементами-трассерами речных вод [7, 9].

Содержание растворенного кремния в исследуемом районе изменялось от 2.2 до 66.6 μM (рис. 3). Наибольшие концентрации кремния (более 50 μM) наблюдались в поверхностных водах на южных станциях разреза, близких к дельте Лены (станции 5216–5219). Ниже, в слое скачка гидрофизических параметров, концентрация кремния опускалась до 30 μM и далее ко дну снижалась до 25 μM . По мере усиления влияния морских вод концентрация кремния снижалась по всему профилю, изменялась и структура верти-

кального распределения кремния. Распределение его приобретает черты, характерные для зоны смешения речных и морских вод: наблюдается поверхностный максимум кремния, который подстилается слоем с большими градиентами, ниже расположен подповерхностный минимум кремния, далее следует небольшое увеличение концентраций ко дну. На ст. 5215_2 распределение кремния имеет более равномерный характер, без четко выраженного градиентного слоя, что, возможно, связано с подъемом придонных вод в данном месте акватории. В целом, по растворенному кремнию влияние речного стока хорошо прослеживается в поверхностном слое до ст. 5226. Станции 5225 и 5227 можно считать морскими — концентрация кремния во всем столбе воды не превышала 10 μM .

Распределение общей щёлочности на разрезе схоже с наблюдавшимся в тот же сезон (сентябрь) в 2011 г. [3]. По распределению общей щёлочности (рис. 4) влияние речного стока в поверхностных водах также прослеживается до ст. 5226. Величина общей щёлочности на разрезе изменялась в диапазоне 1.0–2.4 мг-экв/л. На станциях 5216–5219, где влияние речного стока наибольшее, величина общей щёлочности в поверхностных водах составляла менее 1.40 мг-экв/л, здесь же было зафиксировано и минимальное значение — 1.07 мг-экв/л на ст. 5216. На станциях 5220–5226 величина щёлочности изменялась в диапазоне 1.60–2.00 мг-экв/л, в целом увеличиваясь с юга на север по мере уменьшения интенсивности влия-

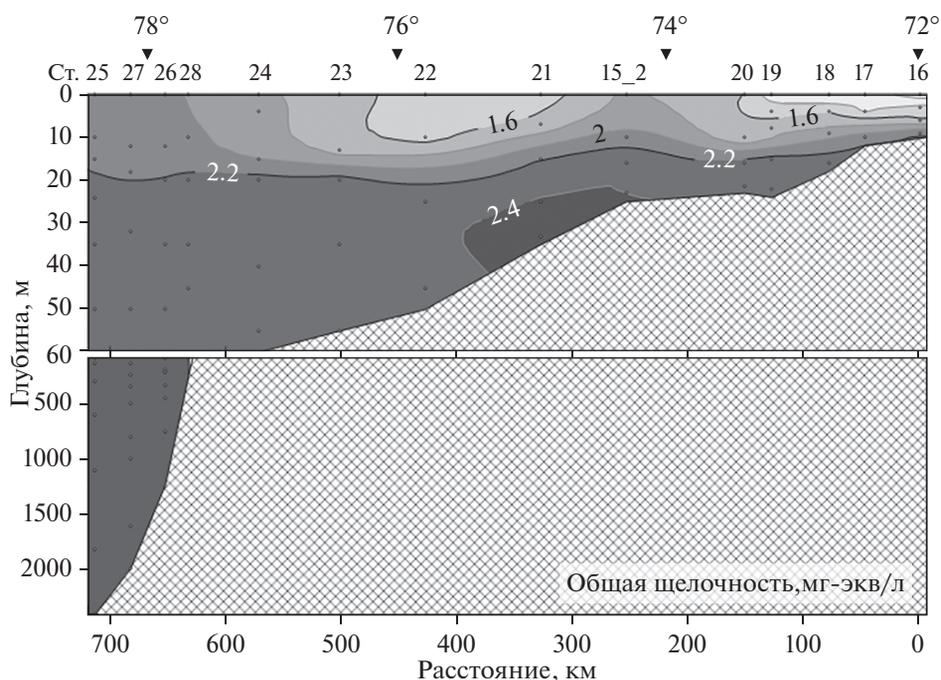


Рис. 4. Распределение общей щелочности на разрезе.

ния речного стока. Вертикальное распределение величины Alk нарушалось в районе ст. 5215_2, где наблюдался подъем вод. Здесь к поверхности подходит изолиния 1.80 мг-экв/л. На “морских” станциях 5225 и 5227 величина щелочности в поверхностном слое была более 2.00 мг-экв/л, тем не менее, заметно опреснение (материковым стоком или талой водой) в поверхностном слое (соленость 30.15 и 28.56 епс соответственно). В слое скачка гидрофизических параметров величина общей щелочности увеличивалась до 2.20 мг-экв/л, далее наблюдалось слабое увеличение Alk ко дну.

Следует отметить наличие максимума общей щелочности в придонном слое в районе станции 5221 (2.43 мг-экв/л), который совпадает с максимумом аммонийного азота, общего и минерального фосфора, а также минимумом абсолютного и относительного содержания кислорода (см. ниже). Формирование такого максимума, скорее всего, связано с массовым осаждением и разложением органического вещества в этом районе. Обычно величина общей щелочности считается достаточно консервативным параметром, мало зависящим от биологических процессов. Однако в результате разложения органического вещества увеличивается содержание общего неорганического углерода, усиливается влияние других составляющих общей щелочности, например, аммонийной, что может привести к увеличению значений общей щелочности.

Концентрация растворенного кислорода на разрезе варьировала от 4.99 до 8.04 мл/л с мини-

мумом в придонных слоях речной части исследуемого района. Наблюдаемое на всем разрезе насыщение воды кислородом не поднималось выше 97% (рис. 5). Таким образом, даже на поверхности содержание кислорода не достигает равновесной концентрации с содержанием кислорода в атмосфере. На придонных горизонтах в начале разреза (станции 5116 - 5219), куда проникают соленые морские воды, процентное содержание кислорода опускается до 64%, из чего можно сделать вывод, что на исследуемом разрезе процессы окисления органического вещества преобладали над продукционными. Ввиду выноса с материковым стоком большого количества взвеси, препятствующей проникновению солнечного света в верхний деятельный слой моря, такое распределение насыщения вод кислородом не является необычным и наблюдалось в тот же сезон в других экспедициях [6].

Распределение pH имеет общие черты с распределением растворенного кислорода, минимальные величины наблюдались в придонном на самых близких к дельте станциях (7.32 на ст. 5216), по мере усиления влияния морских вод величина pH возрастала в среднем до 7.9 ед NBS.

За исключением кремния, содержание остальных биогенных элементов было низким. Отличительной особенностью распределения минерального фосфора и нитратного азота было увеличение содержания этих параметров в придонных горизонтах в области влияния материкового стока (станции 5216–5222). Содержание минераль-

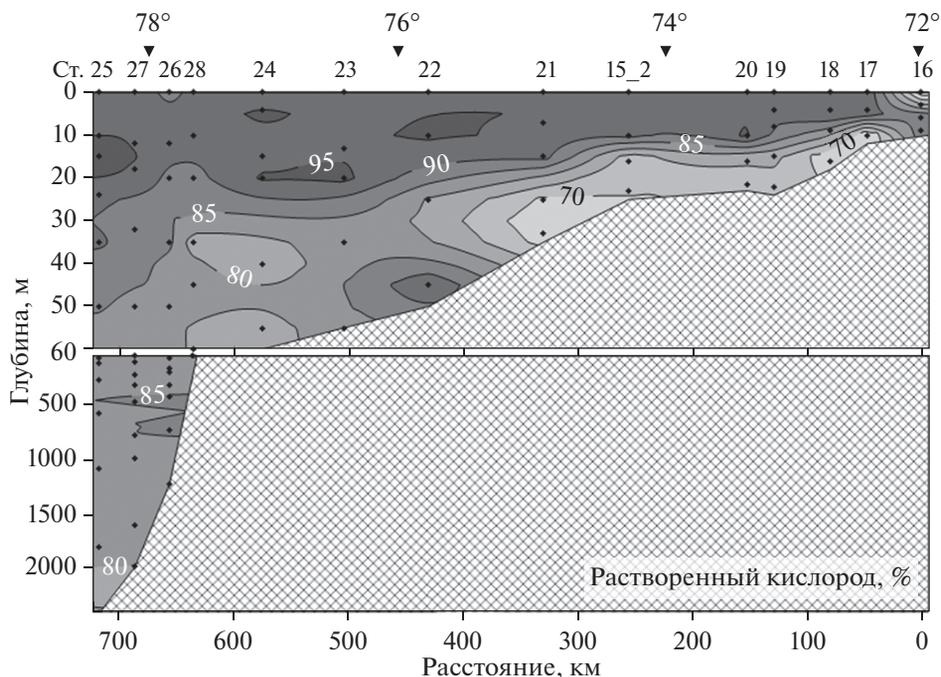


Рис. 5. Насыщение воды кислородом на разрезе.

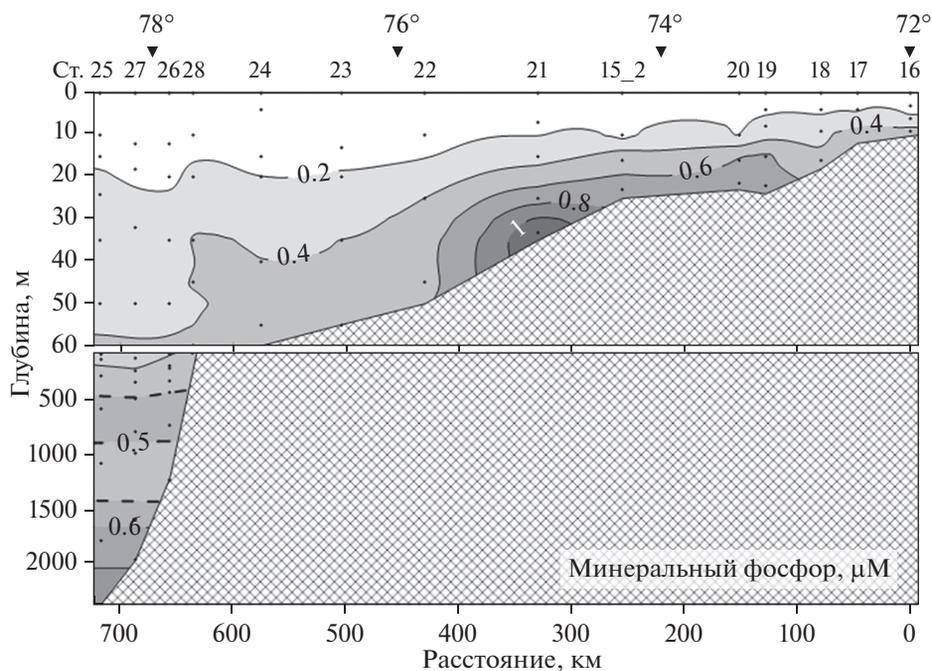


Рис. 6. Распределение минерального фосфора на разрезе.

ного фосфора на разрезе изменялось от 0.07 до 1.22 μM (рис. 6). В поверхностном слое его содержание изменялось в пределах от 0.09 до 0.16 μM , и могло лимитировать развитие фитопланктона. Следует отметить, наличие промежуточного максимума минерального фосфора на глубинах 500–

1000 м, который может быть связан с присутствием атлантических вод [10–12].

Распределение общего растворенного фосфора на разрезе схоже с распределением минерального фосфора: поверхностном слое, максимум в придонных горизонтах в зоне влияния речного

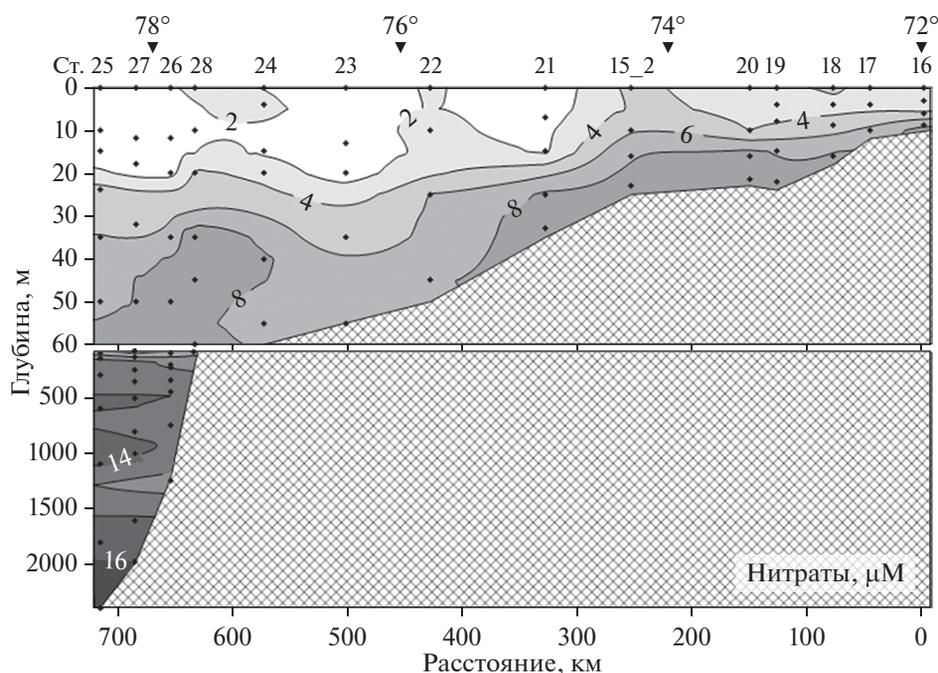


Рис. 7. Распределение нитратного азота на разрезе.

стока, промежуточный максимум на глубинах 500–1000 м максимум на глубоководных станциях и далее небольшое увеличение ко дну. Содержание его составляло 0.18–1.7 μM . В обеих частях речного плюма (южнее и севернее интрузии более соленых вод) отмечались относительно высокие значения органического фосфора (определяется как разница между общим и минеральным фосфором) — его концентрации почти на всех станциях были в 1.5–2 раза выше минерального. В поверхностных водах глубоководных станциях таких различий не наблюдалось. На ст. 5215_2 значения минерального фосфора были близки к значениям общего фосфора на всех горизонтах, что характерно и для придонных вод на разрезе.

Содержание нитратного азота изменялось в диапазоне 0.14–17.33 μM (рис. 7). В поверхностном слое максимальное содержание нитратов (5.2 μM) зафиксировано на ст. 5215_2. Так же повышенное содержание нитратного азота наблюдалось на станциях, подверженных наиболее сильному влиянию речного стока (станции 5216–5219), где оно составляло 2.6–4.2 μM . За пределами этой зоны (севернее ст. 5215_2) концентрация нитратов изменялась в пределах 0.15–2.3 μM , что ниже лимитирующего значения для развития фитопланктонных сообществ.

Аммонийный азот характеризует процессы окисления органического вещества, так как является первым в цепи окисления органического азота до минерального. Максимальная концентрация аммонийного азота была обнаружена в

придонном горизонте станции 5216 и составляла 2.15 μM (рис. 8). Второй максимум, как уже отмечалось выше, наблюдался в придонном слое на станциях 5221–5222. Еще один локальный максимум отмечен в выделенной выше фронтальной зоне над бровкой шельфа на ст. 5226 (1.83 μM).

Анализ данных подтверждает предположение о том, что повышенное содержание аммонийного и нитратного азота (особенно в придонном слое) связано не с выносом этих элементов непосредственно с речным стоком, а с процессами разложения и окисления отмершего органического вещества.

Концентрация нитритного азота в целом по разрезу близка к аналитическому нулю, максимум составил 1.1 μM на горизонте 4 м ст. 5218 и связан, скорее всего, с окислением вынесенной из Быковской протоки дельты Лены быстро разлагаемой органики.

Максимальные значения общего азота зафиксированы в придонном слое наиболее близких к дельте Лены станций (5216–5218). Здесь концентрация достигала 100 μM , что выше, чем наблюдалось для зон смешения в Обской губе и Енисейском заливе [1, 2] в сентябре. Максимум на поверхности ст. 5212_2 подтверждает предположение о подъеме придонных вод в этом месте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные, полученные в результате экспедиционных исследований в сентябре 2015 г. позволили

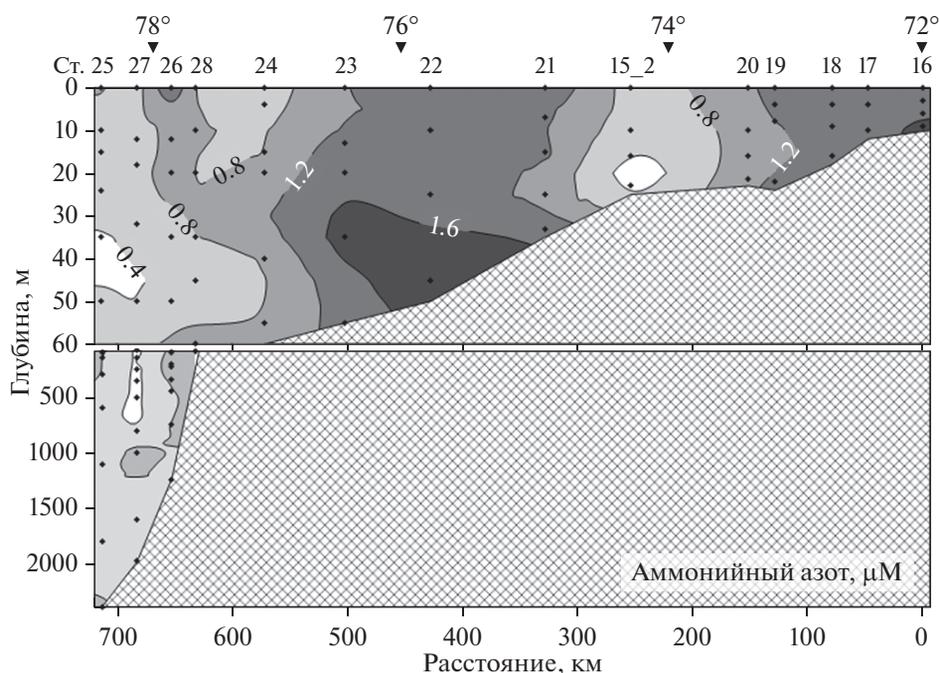


Рис. 8. Распределение аммонийного азота на разрезе.

оценить воздействие материкового стока р. Лена на гидрохимическую структуру вод шельфа, а также континентального склона моря Лаптевых.

Спокойная метеорологическая ситуация в период проведения работ способствовала сохранению сильно стратифицированной структуры вод, сформировавшейся в период активного выноса материковых вод в период паводка, а также в результате дополнительного опреснения тальными водами.

Верхний деятельный слой моря оказался недонасыщен кислородом, что может быть связано как с высокой мутностью поступающих материковых вод, так и с начавшимися процессами окисления органического вещества, выносимого речным стоком. Содержание биогенных элементов, за исключением кремния, было низким в верхнем деятельном слое. Содержание минерального фосфора и азота нитратов находилось ниже уровня, лимитирующего фотосинтез.

Накопление биогенных элементов (минерального фосфора и азота нитратов), являющихся лимитирующими элементами развития фитопланктона в исследуемом районе, происходило в большей степени за счет разложения органического вещества в глубинных морских водах ниже слоя фотосинтеза (рециклинг биогенных элементов), а не за счет выноса речных вод.

На самых глубоководных станциях в слое 300–1000 м было зафиксировано локальное увеличение минерального фосфора, связанное с движением вод атлантического происхождения вдоль

склона на восток. Это подтверждается и температурой выше 0°C в указанном слое.

Стоит отметить также “аномальное” распределение большинства гидрохимических параметров на ст. 5215_2, оказавшейся разделом между двумя частями ленского плюма. Так, здесь в поверхностном слое наблюдается повышенное, по сравнению с другими станциями разреза, содержание общего и нитратного азота, низкие значения аммонийного азота и более высокие значения величины общей щелочности. Подобное распределение биогенных элементов связано с подъемом придонных вод, наблюдавшимся на этой станции.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-05005, полевые работы) и РНФ (грант № 14-50-00095, обработка и анализ гидрофизических данных, грант № 14-17-00681, обработка и анализ гидрохимических материалов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев П. Н., Мельникова З. Г., Полухин А. А. и др. Гидрохимическая характеристика вод западной части Карского моря (по материалам 59-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”) // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4. С. 540–551.
2. 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.
3. Пинко И. И., Пугач С. П., Семилетов И. П. Характерные особенности динамики карбонатных парамет-

- ров вод восточной части моря Лаптевых // *Океанология*. 2015. Т.55. № 1. С. 78–92.
4. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.242-92. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
 5. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Ред. Сапожников В.В. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
 6. Савельева Н.И., Салюк А.Н., Пронн Л.Н. Особенности термохалинной и гидрохимической структуры вод юго-восточной части моря Лаптевых // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 6. С. 918–925.
 7. Смирнов А.А. Проникновение речных вод в Карское море и море Лаптевых / Труды Арктического Научно-исследовательского института. Л.: Морской транспорт. 1955. Т. 72. Вып. 2. С. 92–104.
 8. Современные методы гидрохимических исследований океана / Ред. Бордовский О.К., Иваненков В.Н.. М.: АН СССР. ИО, 1992. 200 с.
 9. Стунжас П.А. Разделение вод Енисея и Оби в Карском море по щелочности и кремнию // *Океанология*. 1995. Т.35. № 2. С. 215–219.
 10. Dmitrenko I.A., Polyakov I.V., Kirillov S.A. et al. Seasonal variability of Atlantic water on the continental slope of the Laptev Sea during 2002–2004 / *Earth and Planetary Science Letters*. V. 244. Issues 3–4. 30 April 2006. P. 735–743.
 11. Dmitrenko I.A., Polyakov I.V., Kirillov S.A. et al. Toward a warmer Arctic Ocean: Spreading of the early 21st century Atlantic Water warm anomaly along the Eurasian Basin margins / *J. Geophys. Res.* 2008. №113. C05023, doi 10.1029/2007JC004158
 12. Dmitrenko I.A., Kirillov S.A., Tremblay L.B. et al. Impact of the Arctic Ocean Atlantic water layer on Siberian shelf hydrography / *J. Geophys. Res.* 2010. № 115. C08010, doi 10.1029/2009JC006020
 13. DOE (1994). Handbook of methods for the various parameters of the carbon dioxide system in sea water; version 2, A.G.Dickson & C.Goyet, eds., ORNL/CDI-AC-74.
 14. Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov I.S., Sidorova M.V. Assessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean // *American Journal of Science*. V. 296. June, 1996. P. 664–691.

Hydrochemical Structure of Waters in the Eastern Part of the Laptev Sea in the Autumn of 2015

S. V. Stepanova, A. A. Polukhin, A. V. Kostyleva

The studying of the Laptev Sea was part of a comprehensive program for the investigation of the Arctic seas during the 63rd cruise of R/V “Akademik Mstislav Keldysh”. On the cross-section along 130 E (September 8–14, 2015) from the Bykovskaya channel to the continental slope (over 700 km) water samples were taken to study hydrochemical structure of the eastern part of the Laptev Sea and influence of the Lena River discharge on it. From the data obtained it was found that the effect of fresh water on the surface layer of the sea is very high and can be traced at a great distance from the river delta. The distribution of some parameters in the mixing zone turned nonconservative. The concentration of nutrients in the surface layer and its high turbidity could serve as limiting factors in the development of the phytoplankton community.