

УДК 551.465

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ ЛЕТОМ 2015 г.

© 2017 г. П. Н. Маккавеев, А. А. Полухин, А. В. Костылева,  
Е. А. Проценко, С. В. Степанова, Ш. Х. Якубов

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

*e-mail: makkaveev55@mail.ru, polukhin@ocean.ru*

Поступила в редакцию 30.06.2016 г.

После доработки 26.09.2016 г.

Во время 63-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Карском море были выполнены 3 разреза. Один, расположенный к востоку от Новой Земли и два в желобах Св. Анны и Воронина. Было отмечено, что влияние материкового стока сказывается на всей исследованной акватории, даже у северной оконечности Новой Земли. На разрезе вдоль желоба Св. Анны отмечено существование склоновой фронтальной зоны, которая в поверхностном слое была перекрыта поверхностным опресненным слоем. В желобе Воронина отмечено сползание склоновых вод. По гидрохимическим показателям ясно, что работы проводились на спаде биологической активности вод и основной пик цветения уже прошел. Гидрохимическая структура вод соответствовала состоянию ранней осени, но до начала активного выхолаживания поверхностных вод.

DOI: 10.7868/S0030157417010087

### ВВЕДЕНИЕ

В 63-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” продолжились гидрохимические исследования Карского моря, проводимые в предыдущих экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова с 1993 г. по настоящее время [4, 5, 7–10, 20]. В 2015 г. в Карском море основные направления исследований были сосредоточены на исследовании распространения трансформированных вод речного стока и процессов, проходящих на материковом склоне. Так же, продолжились работы в заливах арх. Новая Земля, начатые в 2007 г. На рис. 1 показано расположение станций и точек отбора проб в акватории Карского моря. Основные районы работ обозначены как разрезы I, II и IV. Разрез III приходился на акваторию моря Лаптевых и будет рассмотрен в другой статье [17], так же отдельная статья будет посвящена работам в заливах арх. Новая Земля [16].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспедиция в Карском море проходила в 2 этапа: первый с 30 августа по 3 сентября (разрез I) и второй (разрезы II и IV) с 19 сентября по 6 октября 2015 г. Отбор проб проводился 5-ти литровыми пластиковыми батометрами Нискина комплекса “Розетта” в соответствии с ГОСТ 51592-2000 “Общие требования к отбору проб”. Сразу же после отбора проводилась фиксация проб на

растворенный кислород и аммонийный азот. Пробы на определение рН, биогенных элементов (силикаты, фосфаты, формы азота) и щелочности отбирались в пластиковую посуду 0.5 л без консервации. В судовой лаборатории выполнялись определения содержания растворенного кислорода, величин рН и общей титруемой щелочности (Alk), содержания нитратного, нитритного, аммонийного и общего азота, минерального и общего растворенного фосфора и растворенного кремния. Измерения проводились не позднее 6 часов от времени отбора проб. Как и в предыдущих экспедициях ИО РАН, гидрохимические определения велись по стандартным методикам [12, 13, 15], принятым в отечественной океанологической практике. Использование единых методик во всех экспедициях позволяет корректно сравнивать исследования разных лет.

При работе в водах с большим количеством взвешенного вещества (вода в губах и заливах, в зоне смешения речных и морских вод) пробы для определения биогенных элементов предварительно фильтровались через фильтры 0.45 мкм. В пробах с заметной глазу окраской воды, колориметрические определения минерального фосфора и силикатов корректировались на цветность вод по соответствующим методикам [13, 15].

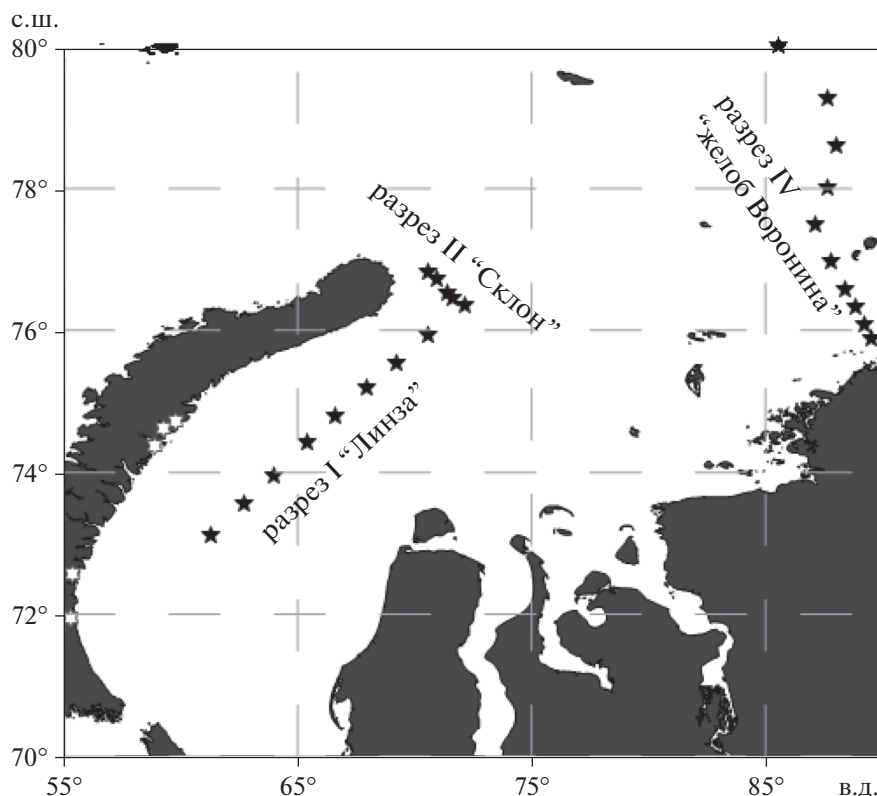


Рис. 1. Схема работ в Карском море в 63-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш».

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Исследование вод материкового происхождения.** Обилие речного стока приходящегося на акваторию Карского моря приводит к тому, что в поверхностном слое на его акватории практически постоянно находятся трансформированные материковые воды. Эти воды, отличающиеся пониженной соленостью, повышенной мутностью и специфическим химическим составом, образуют на поверхности более или менее устойчивые структуры, часто называемые линзами [1, 18] или поверхностным опресненным слоем [2]. Идентификация этих вод и изучение их распространения по акватории моря проводятся давно [14], и до сих пор одним из основных показателей распространения речного стока считается отношение  $Alk/Salinity$  (удельная щелочность, УЩ), величина этого отношения более 0.06–0.07 показывает однозначно на присутствие речных вод.

Наиболее явно присутствие речных вод было зафиксировано на разрезе I, который собственно и был нацелен на исследование линзы вод пониженной солености (рис. 1). По величине удельной щелочности на разрезе I влияние материкового стока прослеживается практически по всему поверхностному слою (рис. 2а) до 10–15 м глубины. Ядро опреснения на разрезе находится на ст. 5207. Заметное влияние речного стока было и на разре-

зах II и IV. На разрезе II по отрогу желоба Св. Анны, как на наиболее удаленном от берега, влияние речного стока прослеживалось главным образом в южной его части (рис. 2б). Слой вод, подверженный значительному влиянию материкового стока составляет в среднем около 10 м. На разрезе в желобе Воронина влияние речных вод менее сильное, но заметно до глубины 30 м в северной части разреза и более чем до 50 м в южной его части (рис. 2в).

Присутствие трансформированных речных вод было отмечено во всех предыдущих экспедициях ИО РАН. Химический состав поверхностного опресненного слоя был неоднороден (таблица), что зависело от степени его трансформации, времени существования и, главное, состава стока основных рек региона, который может меняться как год от года, так и в зависимости от сезона [10, 19]. Но следует отметить, что по всем съемкам зависимость УЩ от солености ложится на одну изогнутую линию, что может свидетельствовать об общности их генезиса (рис. 3а). То же можно сказать и об отношении растворенный кремний — соленость (рис. 3б).

Материковые воды, как правило, сильно обогащены растворенным кремнием по сравнению с морскими водами. Содержание растворенного кремния (силикаты) часто используют как эле-

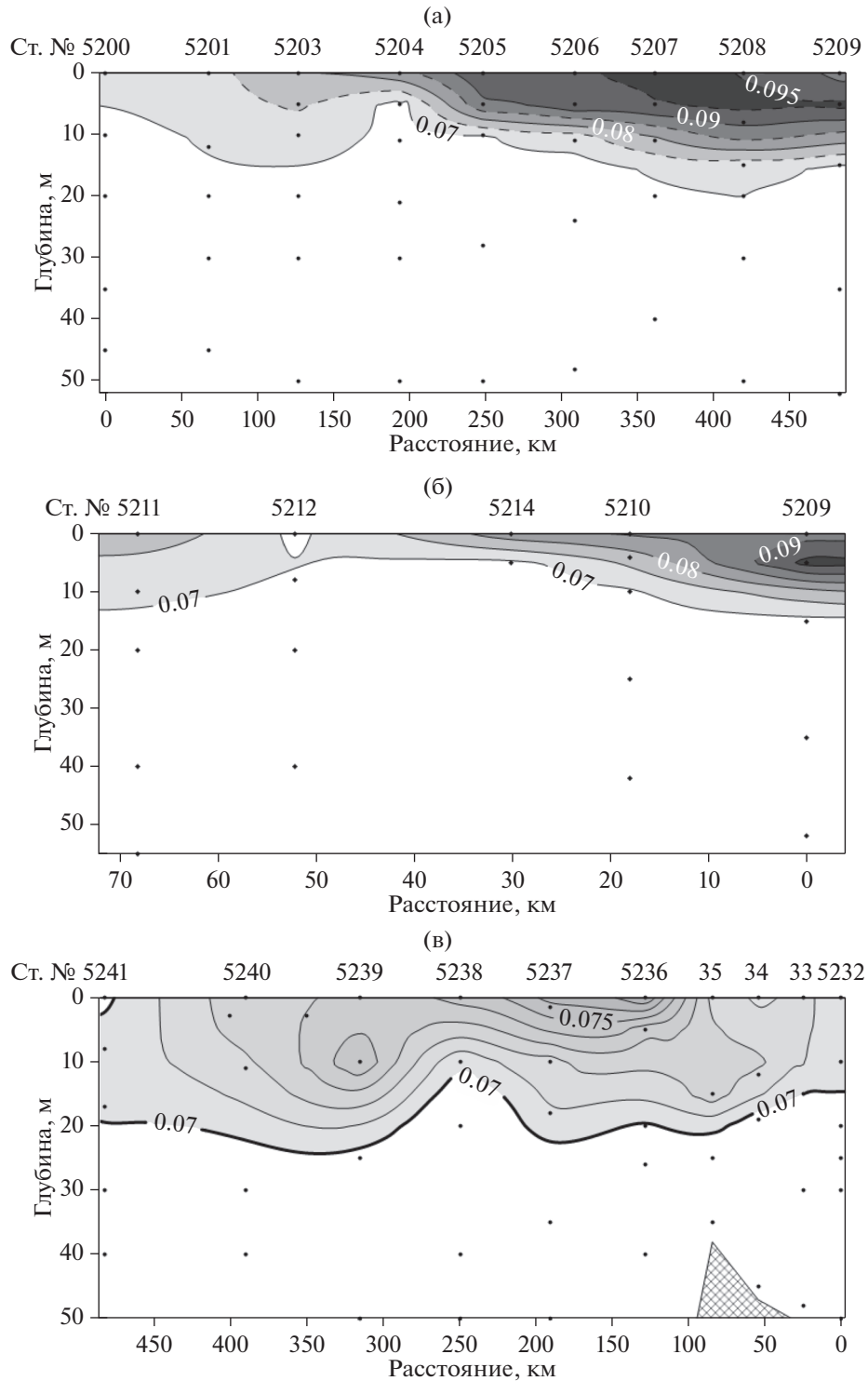


Рис. 2. Соотношение щелочность—соленость для верхнего 50 метрового слоя разрезов : (а) – I ; (б) – II и (в) – IV.

мент-трассер распространения речных вод. Поэтому, на разрезе I присутствие вод материкового стока можно обнаружить и по распределению растворенного кремния (рис. 4). Максимум содержания кремния ( $39 \mu\text{M}$ ) отмечен на станции 5207. Так

же как и по УЩ, на станциях 5203–5209 по изолинии содержания кремния  $10 \mu\text{M}$  влияние речных вод прослеживается до глубины 10–15 м. Глубже, с увеличением солености, наблюдается падение содержания кремния, и на горизонте 15–20 м кон-

Гидролого-гидрохимические характеристики поверхностного опресненного слоя вод в Карском море по результатам экспедиционных работ ИО РАН

Наблюденные значения	T, °C	S, psu	pH, NBS	Alk, мг-эк/л	PO <sub>4</sub> , μM	Si, μM	NO <sub>2</sub> , μM	NO <sub>3</sub> , μM	NH <sub>4</sub> , μM	УШ
Сентябрь, 1993 г.										
Минимальные	1.57	10.188	8.003	1.397	0.05	8.4	0.00	0.00	0.05	0.074
Максимальные	4.80	24.343	8.14	1.870	0.2	52.0	0.08	0.24	0.78	0.137
Средние	2.92	16.713	8.05	1.587	0.14	31.7	0.0214	0.06	0.33	0.100
Сентябрь, 2007 г.										
Минимальные	4.88	25.369	8.08	1.997	0.14	10.9	0.00	0.00	0.17	0.075
Максимальные	6.35	28.108	8.17	2.121	0.31	16.0	0.02	0.70	0.73	0.080
Средние	5.66	26.397	8.12	2.050	0.21	14.3	0.01	0.28	0.40	0.078
Сентябрь, 2011 г.										
Минимальные	1.81	15.085	8.05	1.534	0.12	21.0	0.02	0.1	0.84	0.076
Максимальные	4.93	25.73	8.13	1.944	0.77	38.1	0.31	5.96	1.09	0.104
Средние	4.02	22.5	8.09	1.657	0.24	33.4	0.081	1.16	0.96	0.094
Сентябрь, 2013 г.										
Минимальные	3.17	19.000	7.87	1.676	0.07	2.37	0.00	0.00	0.34	0.074
Максимальные	5.92	29.900	8.12	2.226	0.34	32.3	0.42	0.05	2.15	0.088
Средние	4.67	25.250	7.99	1.984	0.19	14.2	0.13	0.034	0.87	0.079
Август, 2014 г.										
Минимальные	0.59	0.03	7.35	1.565	0	0.47	0.00	0.00	0	0.067
Максимальные	8.68	34.69	8.34	2.182	47.36	77.23	0.17	6.5	7.5	0.172
Средние	4.65	20.03	8.01	1.932	3.79	20.16	0.07	0.67	1.4	0.085
Сентябрь, 2015 г.										
Минимальные	5.75	16.400	7.85	1.542	0.05	8.3	0.10	0.03	0.60	0.073
Максимальные	8.70	28.591	8.09	2.089	0.18	39.4	0.64	0.08	3.20	0.098
Средние	7.35	20.128	7.99	1.732	0.14	28.4	0.41	0.04	1.34	0.088

концентрация кремния не превышает 2–5 μM, а на некоторых станциях разреза (5200–5203) содержание кремния от 10 до 50 м близко к аналитическому нулю. Далее с глубиной происходит небольшое увеличение содержания кремния до 6–8 μM в придонном слое. Подобное распределение растворенного кремния наблюдалось и на разрезах II и IV, о чем будет говориться ниже.

Распределение других биогенных элементов (фосфатов, нитратной и нитритной форм азота) было обычным для теплого сезона в данном районе (рис. 5). В поверхностном слое содержание фосфатов и нитратного азота было чрезвычайно малым, ниже 1 μM для нитратного азота, а для фосфатов иногда и до аналитического нуля. Судя по концентрации фосфатов, они могли стать лимитирующим фактором развития фитопланктона. В придонном слое содержание всех биогенных элементов увеличивается (рис. 5), что связано с окислением органического вещества, опустившегося из вышележащих слоев. Это подтверждается и насыщением вод растворенным кислородом. Поверхностный слой разреза I только на станциях с наибольшей соленостью (5200 и 5201)

был насыщен кислородом на 100%. В области более сильного влияния речного стока этот параметр не превышал 95%. Возможно, это связано с тем, что интенсивность процессов окисления органического вещества, принесенного материковым стоком, стала сравнима с интенсивностью процессов синтеза органического вещества, что вполне естественно для данного сезона (конец лета – начало осени). Подповерхностный максимум содержания кислорода, весьма характерный для Карского моря [18], был отмечен только на станции 5201. Глубинные слои не испытывают недостатка кислорода и толща вод достаточно хорошо аэрирована, в самом глубоком месте разреза (250 м) степень насыщения составляла 77% (рис. 6).

**Гидрохимия склонов.** Изучение процессов, проходящих на материковом склоне, в частности проявления склоновых фронтов в гидрохимической структуре вод, было проведено на двух разрезах через отроги желобов Св. Анны и Воронина (разрезы II и IV). Видно, что практически все поверхностные воды разрезов были подвержены сильному влиянию материкового стока, о чем говорилось выше. Наряду с повышенными значе-

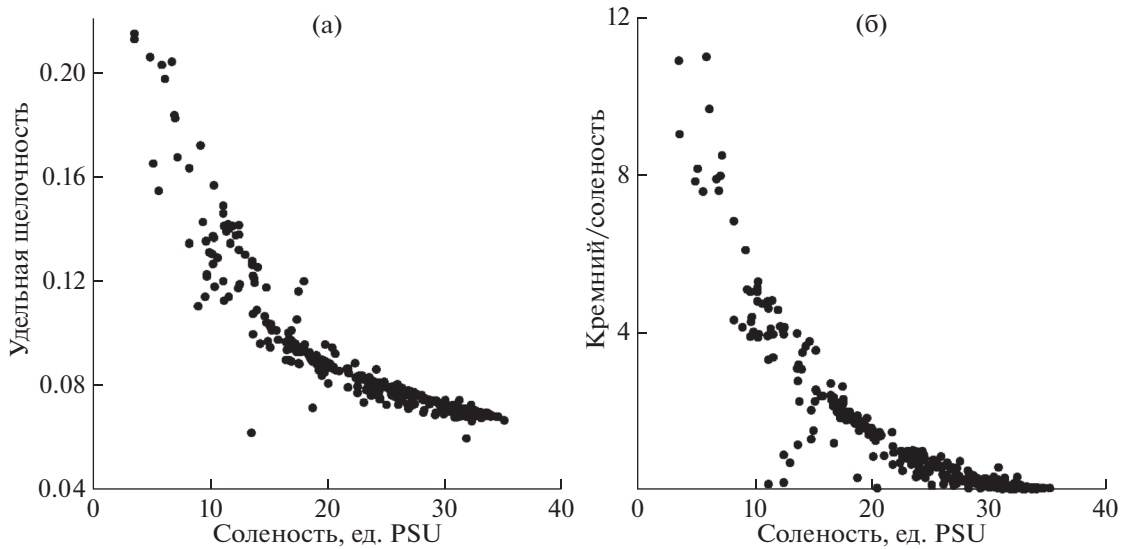


Рис. 3. Зависимость удельной щелочности (а) и отношения кремний–соленость (б) от солености для трансформированной речной воды по результатам наблюдений.

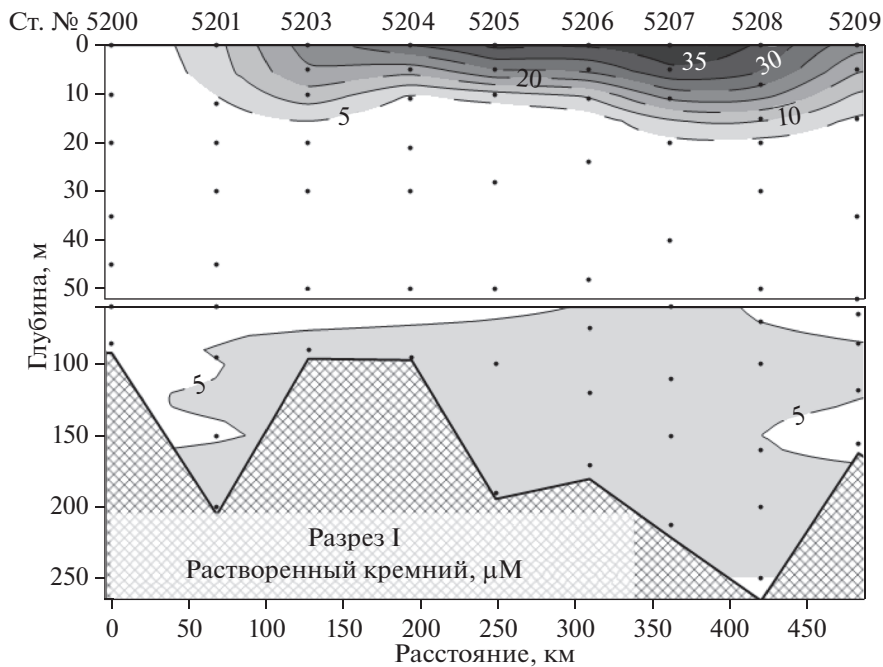


Рис. 4. Распределение растворенного неорганического кремния (µM) на разрезе I.

ниями УЩ в поверхностных водах на этих разрезах (рис. 2б, 2в) наблюдалось и значительно увеличенное содержание растворенного кремния (рис. 7). Видно, что слой с заметным присутствием речных вод был мощнее на разрезе IV, расположенном ближе к берегу. На центральных станциях разреза выделяется область с величиной коэффициента УЩ 0.078, небольшому опреснению подвержены все станции разреза, кроме 5232, 5234 и 5241. Ядро опресненной линзы обнаружено на станциях 5236 и 5237. На разрезе II ядро опресненной воды находится на ст. 5209 в слое 5 м,

далее на северо-запад этот слой вырождается и на ст. 5212 значение УЩ равно 0.068, что говорит о присутствии здесь практически чисто морских вод. К ст. 5211 коэффициент вновь становится выше 0.07, что указывает на присутствие пресных вод материкового происхождения.

Можно видеть, что распределение растворенного кремния в поверхностном слое (рис. 7) схоже с распределением УЩ. На разрезе II максимум содержания силикатов отмечается на ст. 5209, на ст. 5212 его содержание близко к аналитическому

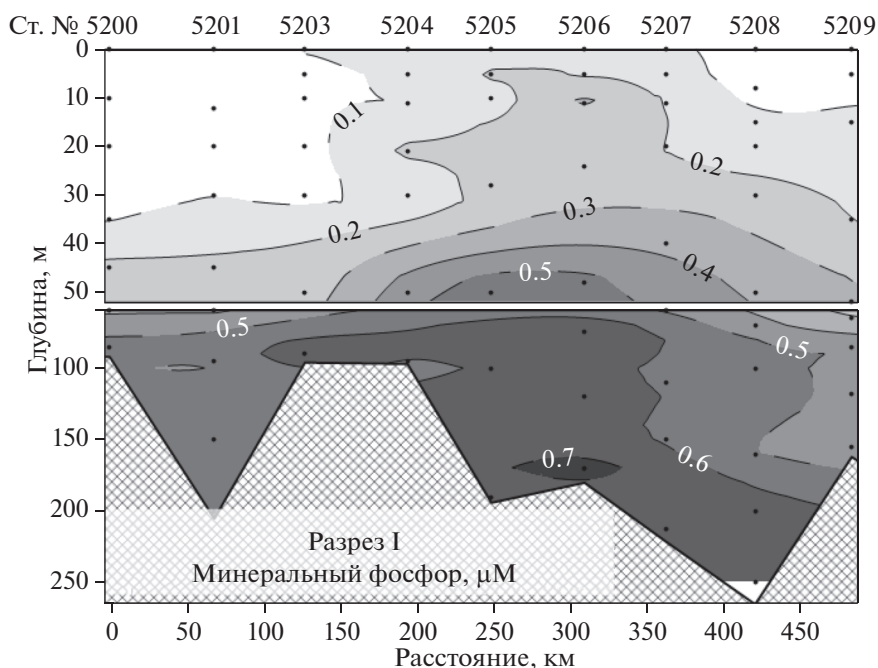


Рис. 5. Распределение растворенного неорганического фосфора ( $\mu\text{M}$ ) на разрезе I.

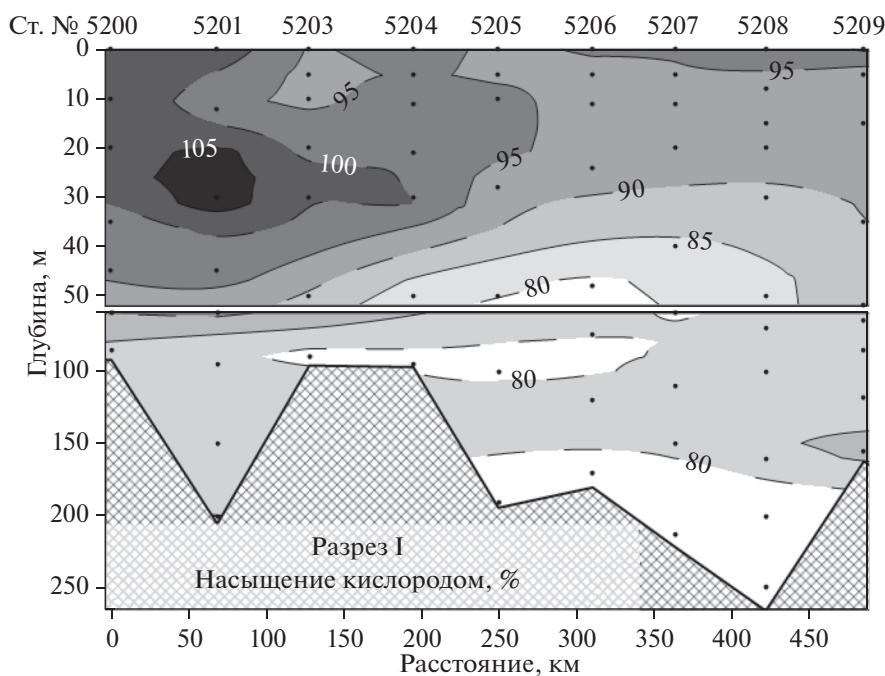


Рис. 6. Насыщение вод растворенным кислородом (%) на разрезе I.

нулю, что характерно для морских вод северной части Карского моря, не подверженных влиянию речного стока. На ст. 5211 содержание кремния в поверхностном слое вновь возрастает, его концентрация указывает на присутствие речных вод. На разрезе IV максимум содержания кремния в поверхностных водах ( $11.5 \mu\text{M}$ ) отмечен на ст. 5236, на северной и южной частях разреза со-

держание кремния в поверхностных водах спадает до  $1.0\text{--}1.5 \mu\text{M}$ . Глубже поверхностного опресненного слоя на обоих разрезах наблюдался слой пониженного содержания кремния. В слое до 50 м содержание кремния составляло  $1\text{--}2 \mu\text{M}$ , опускаясь ниже  $1 \mu\text{M}$  в мористой части. Глубже 50 м наблюдался медленный и монотонный рост кремния ко дну.

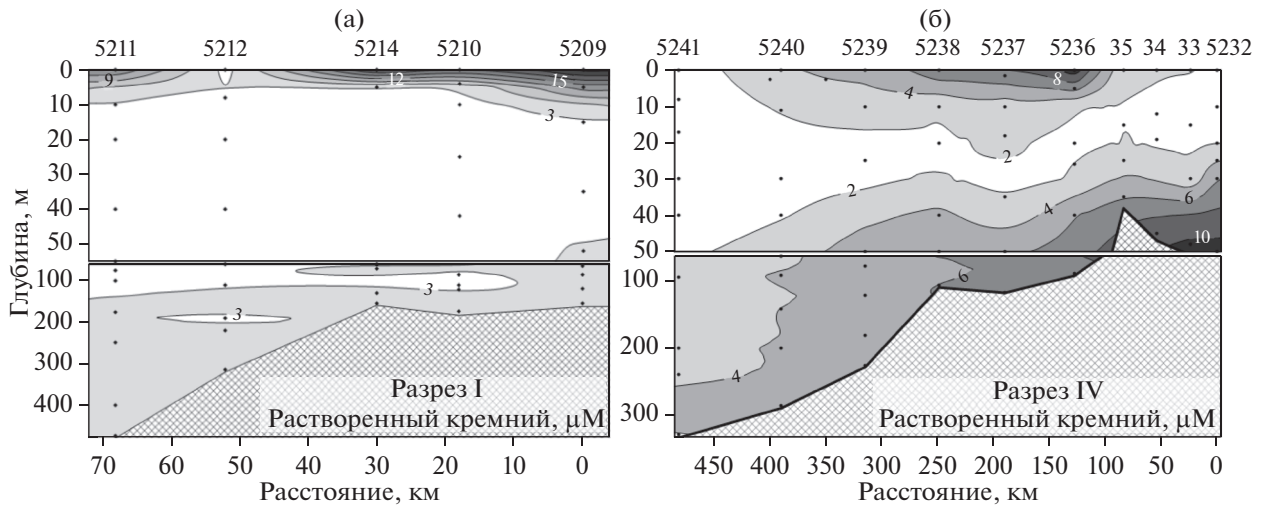


Рис. 7. Распределение растворенного неорганического кремния ( $\mu\text{M}$ ) на разрезах (а) – II и (б) – IV.

По гидрологическим показателям на разрезе II, как и ожидалось, выявлена склоновая фронтальная зона, наблюдавшаяся и в предыдущих экспедициях [21]. Фронт проходил между станциями 5210 и 5214, несколько ближе к последней. В верхнем двадцатиметровом слое фронтальная зона, вероятнее всего, была уничтожена трансформированной водой материкового стока, остатки которой и наблюдались в северной, мористой части разреза. Заметные изменения температуры и солености, характерные для фронтальных зон, наблюдались, начиная с глубины примерно 30 м. Следует отметить, что по гидрохимическим показателям эта фронтальная зона была выражена слабее, чем по гидрофизическим и биологическим показателям. Изменение таких характеристик, как содержание минеральных форм азота, растворенного кислорода и его насыщения, если и проявлялось, то в пределах чувствительности метода определения. При переходе к мористой части разреза несколько уменьшалось содержание растворенного кремния; величины pH, щелочности и содержание растворенного кислорода, напротив, росли.

Заканчивая описание разреза II, можно сказать, что в мористой его части прослеживался заток баренцевоморских вод, подтвержденный гидрофизическими исследованиями, а также видовым составом зоопланктона, характерным для вод Баренцева моря. Косвенным признаком присутствия баренцевоморских вод по гидрохимическим параметрам может служить и значения нитратного азота, равные  $3 \mu\text{M}$  в верхнем 20-ти метровом слое (рис. 8). Минеральные азот и фосфор в верхнем 50 метровом слое разреза содержались в таком количестве, что могли быть лимитирующим фактором развития фитопланктона. Концентрация фосфатов была  $0.1\text{--}0.3 \mu\text{M}$ , при том, что содержание фосфатов менее  $0.5 \mu\text{M}$  будет за-

труднять развитие фитопланктона. В мористой части разреза содержание нитратного азота было менее  $1 \mu\text{M}$ . Видимо, недостаток биогенных элементов стал причиной того, что верхний деятельный слой моря был не насыщен кислородом, хоть и не так сильно, как на разрезе I. Глубже 50 м наблюдался рост концентраций всех форм биогенных элементов.

По гидрохимическим показателям, можно предположить, что период активного фотосинтеза закончен. Преобладает окисление, пока еще не очень интенсивное, органического вещества в верхнем слое. Начавшийся процесс окисления подтверждает распределение аммонийного азота. Концентрация выше  $1 \mu\text{M}$  в южной части разреза на станциях 5209, 5210 и 5214 указывает на окисление органического азота до минерального, а аммонийный азот является начальной формой этого процесса. Тем не менее, несмотря более глубоководную по сравнению с разрезом I северную часть разреза, насыщение глубинных слоев кислородом не ниже 85%.

Гидрохимическая структура на разрезе IV от мелководного побережья вблизи п-ова Таймыр на север к желобу Воронина (рис. 1) имеет ряд специфических черт, отличающих ее от разреза II. Выделяющаяся в поверхностном слое на центральных станциях разреза область со значительным влиянием пресных вод обладает повышенным содержанием общего азота, что говорит о высокой концентрации азота органического, приходящего вместе с материковым стоком. Поверхностный слой на ст. 5241 в мористой части разреза характеризуется незначительным понижением УЩ при пониженной солености, причиной чему может быть значительное присутствие талых вод в этой части разреза. Интересно, что на этой же станции обнаружено повышенное ( $2.5 \mu\text{M}$ )

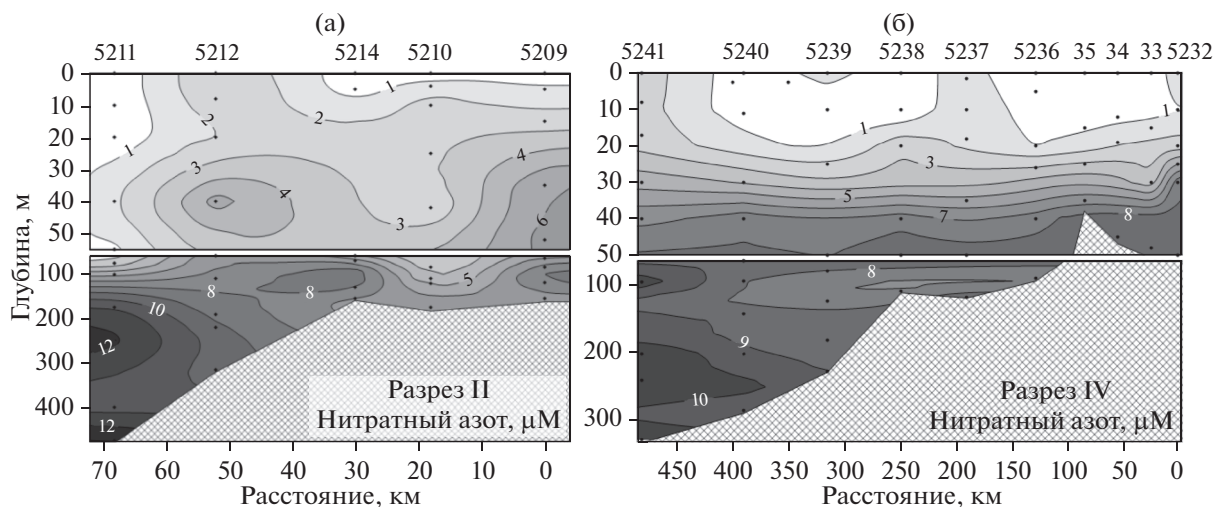


Рис. 8. Распределение нитратного азота ( $\mu\text{M}$ ) на разрезах (а) – I и (б) – IV.

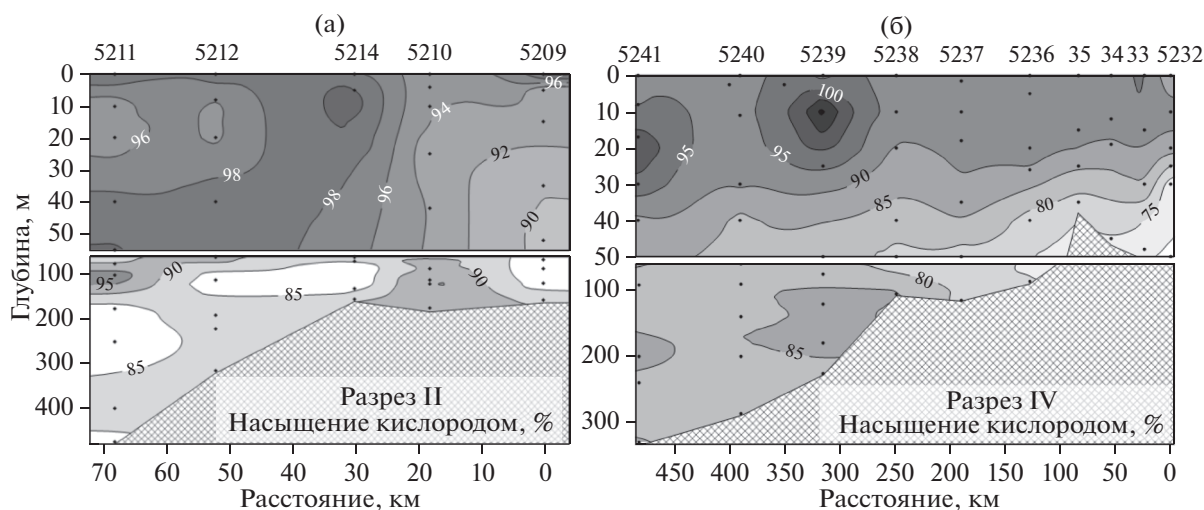


Рис. 9. Распределение степени насыщения вод растворенным кислородом (%) на разрезах (а) – II и (б) – IV.

по сравнению с остальной частью верхнего 20-метрового слоя содержание нитратного азота (рис. 8). В то время как нитратный азот в поверхностном слое других станций разреза был менее  $1 \mu\text{M}$  и мог являться лимитирующим фактором развития фитопланктона.

Так же как на других разрезах, выполненных в Карском море, насыщение кислородом в поверхностном слое было ниже 100%. Невысокое насыщение вод кислородом в сочетании с содержанием аммонийного азота, которое близко к  $1 \mu\text{M}$ , указывает на преобладание процессов деструкции органического вещества и окончание периода активного фотосинтеза. Насыщение вод более 100% отмечено фрагментами в слое 10–20 м (рис. 9). По-видимому, это остатки эффекта, описанного П.А. Стунжасом еще в 1995 году по результатам экспедиции НИС “Дмитрий Менделеев” в Карское море в 1993 г. [18] и другими авторами. Суть

в том, что весной подо льдом Карского моря начинается активное цветение фитопланктона и быстрое насыщение кислородом подледного слоя воды. При таянии льда, а также приносе пресных паводковых вод сибирских рек, этот перенасыщенный кислородом слой более плотной морской воды перекрывается менее плотным слоем пресных вод, тем самым как бы “консервируется”. Этот слой может существовать несколько месяцев, и был неоднократно обнаружен и описан в последних экспедициях ИО РАН в Карское море.

Интересным представляется и значительное повышение в придонных водах южной части разреза IV (станции 5232–5236) растворенного минерального фосфора (более  $0.6 \mu\text{M}$ ) и кремния (до  $10 \mu\text{M}$ ). Возможно, здесь наблюдался эффект “сползания вод” (каскадинга), достаточно широко распространенный в Арктике [3]. Подтверждением этого может служить и слоистость в распре-



делении кремния и нитратного азота в водах глубже 50 м в центральной и северной частях залива IV (рис. 76 и 86).

Пользуясь повтором станций 5205 и 5214, удалось проследить изменчивость гидрохимической структуры вод (интервал между измерениями на станциях составил 23 и 20 дней соответственно, что можно отнести к синоптическому масштабу изменений). Ст. 5205 находилась под воздействием мощного континентального стока, основные изменения в гидрологической и гидрохимической структуре воды происходили в верхнем 10 метровом слое. Через 3 недели после первых измерений профиль всех представленных параметров начинает выравниваться, но полному перемешиванию мешает ярко выраженная и характерная для данной акватории Карского моря стратификация водной толщи, формирующаяся под воздействием материкового стока на поверхностный слой моря.

Иная ситуация наблюдается на ст. 5214, находящейся на разрезе II и характеризующейся относительно слабым воздействием материкового стока на поверхностный слой. Если во время первой съемки толща вод стратифицирована и присутствовал хорошо выраженный слой с пониженной соленостью, то через 20 дней после первых работ мы наблюдаем практически полное выравнивание профиля гидрофизических и гидрохимических параметров. Некоторые из них (например, щелочность, кремний) не претерпели существенных изменений по всему профилю, другие (фосфаты, нитраты) уменьшились в своих абсолютных значениях.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Практически все исследованные районы моря находились под сильным воздействием материкового стока. Заметное влияние материкового стока наблюдалось даже на мористой части разреза II у северной оконечности Новой Земли. В прошлом [14] проникновение трансформированных речных вод наблюдалось в Карском море и значительно севернее. Можно сказать, что если принять границу устьевой области реки по определению [11], то практически все Карское море можно рассматривать как устьевую область Енисея и Оби [6]. Распространение опресненных вод по акватории зависит от гидрометеорологической обстановки, объема стока и распределения его во времени. Так во время данного рейса динамика поверхностного опресненного слоя под влиянием ветрового воздействия привела к тому, что склоновый фронт в поверхностных водах был сглажен, и фронтальная зона наблюдалась только ниже галоклина.

Несмотря на обилие речного стока, фотосинтетическая активность вод была низкой. Насыщение вод кислородом более 100% отмечено было главным образом в подповерхностных водах, как реликт раннего цветения. С этим, возможно связано и то, что под слоем вод пониженной солености значительно падает содержание растворенного кремния, который потреблялся массовыми видами фитопланктона. До глубины примерно 50 м содержание биогенных элементов (фосфатов и нитратного азота) было очень низким. Тот факт, что воды, подверженные мощному выносу материковых вод, оказываются обедненными биогенными элементами (за исключением кремния) достаточно часто наблюдается в морях Арктики. Причин для этого может быть несколько: во-первых, большая часть биогенных элементов поглощается в зонах смешения вод (эстуарных фронтах), которые, как правило, принадлежат к наиболее продуктивным районам. Во-вторых, возможно, что выносимые высокоширотными реками биогенные элементы, прошедшие через зону смешения могут находиться в форме, сложной для усвоения фитопланктоном. В-третьих, наличие опресненного слоя усиливает стратификацию вод и затрудняет перемещение питательных веществ в зону активного фотосинтеза из более глубоких слоев акватории. Более общей причиной низкой биологической активности вод при настоящих работах можно считать то, что основной пик цветения уже прошел и везде преобладали процессы окисления органического вещества.

Повторными измерениями гидрохимических параметров на нескольких станциях показано, что плотностная стратификация, вызванная наличием поверхностного опресненного слоя, замедляет или даже приостанавливает изменения в гидрохимической структуре вод под воздействием гидрометеорологических процессов синоптического масштаба времени. Кстати, именно благодаря “запирающему” эффекту опресненного слоя и существует слой “реликтового цветения”, о котором говорилось выше. Присутствие трансформированных речных вод достаточно устойчиво во времени. Кстати, по результатам работ в 2014 г. было показано, что линза трансформированной речной воды существовала к востоку от п-ва Ямал, по крайней мере, 2 месяца, несмотря на достаточно сложную гидрометеорологическую обстановку.

Гидрохимические показатели вод исследованного района скорее соответствуют состоянию перехода от летнего к осеннему сезону или ранней осени, когда биологическая активность уже идет на спад, но еще не началось активное выхолаживание поверхностного слоя. Выхолаживание вод часто приводит к осеннему пику цветения фитопланктона, активизируемому притоком биогенных элементов из нижележащих слоев. Такое цве-

тение возможно, когда активизация процессов конвективного перемешивания происходит относительно рано, т.е. при достаточной величине солнечной инсоляции. В данном году обширное пространственное распределение и мощность поверхностного опресненного слоя могут достаточно долгое время препятствовать изменению гидрохимической и биологической структуры вод.

Полевые исследования поддержаны РНФ (проект № 14-50-00095) и РФФИ (проект № 14-05-05005Кар а), обработка и анализ материалов поддержана РНФ (проект № 14-17-00681).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялов П.О., Ижицкий А.С., Осадчиев А.А. и др. Структура термохалинных и биооптических полей на поверхности Карского моря в сентябре 2011 г. // *Океанология*. 2015. Т.55. № 4. С. 514–525.
2. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В. Поверхностный опресненный слой вод в Карском море // *Океанология*. 2010. Т.50. №5. С. 730–739.
3. Иванов В.В. Структурообразующие гидрофизические процессы в приатлантической Арктике. Автореферат дисс. д-ра физ.-мат. наук. СПб.: ААНИИ 2012. 38 с.
4. Лалин С.А., Мазо Е.Л., Маккавеев П.Н. Комплексные исследования Обской губы (июль–октябрь 2010 г.) // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 758–762.
5. Лисицын А.П., Виноградов Е.М. Международная высокоширотная экспедиция в Карское море (49-й рейс научно-исследовательского судна “Дмитрий Менделеев”) // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 643–651.
6. Маккавеев П.Н. Влияние материкового стока на гидрохимический режим Карского моря / Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований. Материалы научной конференции. М.: АПР, 2015. С. 90–53.
7. 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.
8. Маккавеев П.Н., Стунжас П.А. Гидрохимическая характеристика вод Карского моря // *Океанология*. 1994. Т.34. № 5. С. 662–667.
9. 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.
10. Маккавеев П.Н., Хлебонашев П.В. Изменение химического состава вод в нижнем течении арктических рек (по материалам экспедиций 2002–2003 г.). Геология морей и океанов. Тезисы докладов XVI Международной научной школы по морской геологии. Т.1. Москва, 14–18 ноября 2005 г. М.: ГЕОС. 2005. С. 81–82.
11. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: Прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
12. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.242-92. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 264 с.
13. 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.
14. Смирнов А.А. Проникновение речных вод в Карское море и море Лаптевых / Тр. Арктического научно-исследовательского института. Л.: Морской транспорт, 1955. Т.72. Вып. 2. С. 92–104.
15. Современные методы гидрохимических исследований океана / Ред. Бордовский О.К., Иваненков В.Н. М.: ИО РАН, 1992. 200 с.
16. Степанова С.В., Недоснасов А.А. Особенности гидрофизического и гидрохимического режимов залива благополучия (Новая Земля) // *Океанология*. 2017. Т.57. № 1. С.
17. Степанова С.В., Полухин А.А., Костылева А.В. Гидрохимическая структура вод восточной части моря Лаптевых осенью 2015 г. // *Океанология*. 2017. Т.57. № 1. С.
18. Стунжас П.А. Разделение вод Енисея и Оби в Карском море по щелочности и кремнию // *Океанология*. 1995. Т.35. № 2. С. 215–219.
19. Стунжас П.А., Маккавеев П.Н. Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // *Океанология*. 2014. Т.54. № 5. С. 622–634.
20. Флинт М.В. 54-й экспедиционный рейс НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Карское море // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 677–682.
21. Флинт М.В., Поярко С.Г., Тимонин А.Г., Соловьев К.А. Структура мезопланктонного сообщества в области континентального склона желоба Святой Анны (Карское море) // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 4. С. 643–655.

## Hydrochemical Features of the Kara Sea Water Structure in the Summer 2015

P. N. Makkaveev, A. A. Polukhin, A. V. Kostyleva, E. A. Protsenko, S. V. Stepanova, Sh. Kh. Yakubov

There were performed 3 trans-sections in the Kara Sea during the 63rd cruise of the R/V “Akademik Mstislav Keldysh”. One is located to the east of the Novaya Zemlya and two in the area of St. Anna and Voronin Troughs. It was found that influence of continental runoff affects the entire study area even to the northern cape of the Novaya Zemlya. On a trans-section along the St. Anna Trough we have identified existence of frontal zone above the continental slope, which was covered with freshened water within the top active layer. It was detected an effect of sliding of bottom water along the continental slope in the Voronin Trough. It becomes clear according to hydrochemical indicators that investigations were carried out during the decrease of biological activity, and the main phytoplankton blooming peak has passed. The hydrochemical structure of the water column corresponded to early autumn but before the beginning of convective mixing.