

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ВОД КАРСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2012 г.

млад. науч. сотр. О.А.МОРОЗОВА¹, инженер А.В.ВЕСМАН¹,
канд. хим. наук Е.Д.ДОБРОТИНА¹, инженер А.Д.ТАРАСЕНКО¹,
инженер Н.К.ШУМСКАЯ¹, д-р биол. наук П.Я.ЛАВРЕНТЬЕВ²,
зав. лаб. В.А.ОНОШКО¹

¹ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: olga_m@aari.ru, anna.vesman@gmail.com, e_dobrotina@yahoo.com, taraseno4ka@gmail.com, natascorp6@rambler.ru, ova@aari.ru

² – The University of Akron (USA), e-mail: peter3@uakron.edu

Представлены результаты гидрохимических наблюдений, полученные в комплексной арктической экспедиции морского базирования «Ямал-Арктика» в августе–сентябре 2012 г. Установлено, что речные воды распространялись на северо-восток в направлении архипелага Северная Земля. Содержание минерального кремния в Обской губе достигало 150 мкмоль/л, что превышало средние климатические концентрации. Обнаружено аномально низкое содержание растворенного кислорода в придонном слое Байдарацкой губы, которое, по нашему мнению, вызвано возможным поступлением иловых вод, содержащих растворенные формы железа и органическое вещество. Выявлен незначительный дефицит кислорода в поверхностном слое воды Байдарацкой губы, что, скорее всего, связано с материковым стоком, на это указывают и концентрации биогенных элементов. В предыдущие годы дефицит кислорода не наблюдался. Обнаружено максимальное содержание растворенного кислорода в промежуточном слое воды. Проанализированы возможные причины происхождения максимума кислорода. Представлена пространственная изменчивость содержания минерального кремния, минерального фосфора и хлорофилла «а». В районе Новоземельского жёлоба было отмечено увеличение концентрации хлорофилла «а» в слое пикноклина.

Ключевые слова: Карское море, растворенный кислород, биогенные элементы, хлорофилл «а», речной сток.

ВВЕДЕНИЕ

Химический состав морской воды и распределение гидрохимических характеристик имеют большое значение для оценки состояния морских экосистем. Гидрохимические параметры служат хорошими индикаторами водных масс, показывают их динамику и трансформацию. Гидрохимические исследования необходимы для полного понимания процессов, происходящих в морских экосистемах. Гидрохимический мониторинг позволяет оценить фоновое состояние арктических экосистем и его изменение, что в настоящее время является актуальной задачей, поскольку арктические моря особенно чувствительны к внешним воздействиям окружающей среды. Кроме того, растворенный кислород является жизненно важным газом для функционирования морских экосистем, биогенные элементы являются минеральной базой для первичной продукции, а хлорофилл «а» позволяет оценить количество органического вещества в морской воде.

Гидрохимический режим Карского моря формируется в результате смешения атлантических, речных, поверхностных арктических и баренцевоморских вод. Южные и центральные районы моря находятся под влиянием речного стока р. Оби и р. Енисея, особенно юго-восточная часть моря. Гидрохимические условия северной части моря определяются поступлением сюда поверхностных арктических вод. Баренцевоморские воды поступают в Карское море через проливы Карские Ворота и Югорский Шар, оказывая влияние на формирование гидрохимической структуры вод юго-западной части моря. Теплые соленые воды атлантического происхождения поступают в Карское море по желобу Св. Анны на западе и желобу Воронина на востоке.

Гидрохимические исследования в Карском море начались в период Второго Международного полярного года 1932–1933 гг. С 1948 г. в Карском море начали работать ежегодные океанографические экспедиции «Ледовый патруль», также в послевоенный период начинают работать высокоширотные воздушные экспедиции, в которых гидрохимические характеристики определялись, как правило, на поверхности [Русанов, Яковлев, Буйневич, 1979].

В данной статье приведены результаты гидрохимического мониторинга в летний период 2012 г. Приведены оценки изменчивости гидрохимических характеристик и обсуждены особенности их распределения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

С августа по сентябрь 2012 г. на НИС «Профессор Молчанов» в рамках комплексной арктической экспедиции морского базирования «Ямал-Арктика» было выполнено 105 океанографических станций практически по всей акватории Кар-

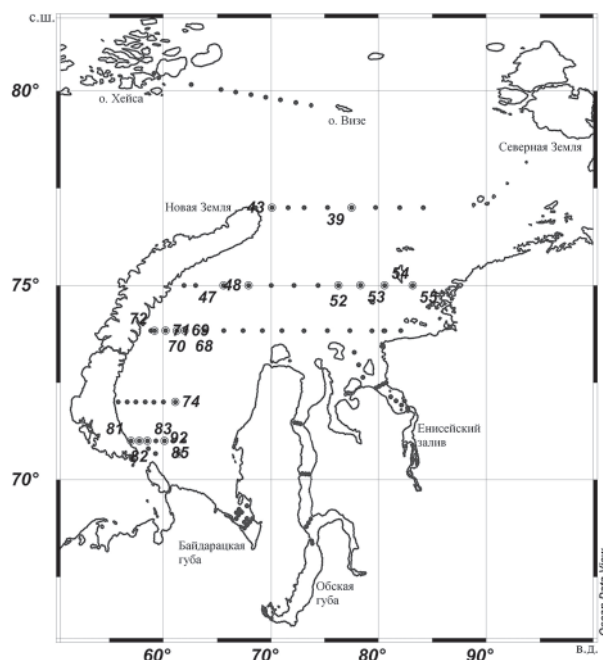


Рис. 1. Схема гидрохимических наблюдений. Цифры рядом с выделенными точками – номера станций, на которых обнаружен максимум кислорода в промежуточном слое воды и на которых проводились измерения оптических характеристик морской воды.

ского моря, которые включали отбор и анализ проб на гидрохимические параметры (рис. 1). Отбор проб морской воды выполнялся батометрами Нискина емкостью 5 л. Как правило, пробы воды отбирались на стандартных горизонтах. Определение гидрохимических параметров включало в себя определение растворенного кислорода, растворенного неорганического кремния, растворенного неорганического фосфора и хлорофилла «а». Определение кислорода, кремния и фосфатов проводились по стандартным методикам, принятым в современной морской химии [РД 52.10.744–2010; РД 52.10.736–2010 и РД 52.10.736–2010]. Относительная ошибка определения кислорода не превышала 2 % при содержании кислорода в морской воде 0,70–10 мл/л. Относительная ошибка определения кремния составила не более 4 % при содержании кремнекислоты в морской воде 0–5 мкмоль/л и не более 2,5 % при содержании кремнекислоты 5–60 мкмоль/л. Относительная ошибка определения фосфатов составила не более 15 % при содержании фосфатов в морской воде 0–0,2 мкмоль/л, не более 5 % при содержании фосфатов 0,2–0,9 мкмоль/л и не более 2 % при содержании фосфатов 0,9–2,8 мкмоль/л. Для определения хлорофилла «а» отобранные пробы морской воды были профильтрованы через нейлоновые мембранные и целлюлозно-ацетатные фильтры. Затем фильтры помещались в 96 % этанол на 12 часов для экстракции хлорофилла «а» в темноте при комнатной температуре [Wasmund, Topp, Schories, 2006]. Концентрации хлорофилла «а» измерялись на флуориметре без использования окисления [Welschmeyer, 1994].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение растворенного кислорода в поверхностном слое воды

По распределению насыщенности поверхностных вод растворенным кислородом хорошо видно влияние водных масс, формирующих гидрохимический режим Карского моря. Обь-Енисейский район находится под непосредственным влиянием таких крупных сибирских рек, как Обь и Енисей. По нашим оценкам насыщенность поверхностных вод кислородом в этом районе была в пределах 86,5–99,7 %, средняя величина дефицита кислорода составляла 6–7 %, что в целом согласуется с климатическими данными. Растворенный кислород расходуется здесь на окисление органического вещества, которое в большом количестве приносят сибирские реки, а также на химические, биохимические и физико-химические процессы, которые интенсивно происходят в зоне смешения речных и морских вод. Гидрохимическая структура вод юго-восточной части Карского моря также формируется под влиянием речных вод, здесь наблюдался дефицит кислорода, не превышающий 3 %. По данным экспедиций «БАРКАЛАВ», в августе–сентябре 2007 и 2008 гг. дефицит кислорода в поверхностном слое юго-восточного и центрального районов моря достигал 7 %. Средняя величина дефицита кислорода равнялась 4 %. Это может служить косвенным признаком того, что вынос речных вод в Карское море в 2012 г. был менее интенсивным, чем в предшествующие годы. Насыщение поверхностного слоя воды кислородом в центральной части моря в августе–сентябре 2012 г. составляло 100 %, влияние речного стока на этот район не распространялось.

Поверхностный слой воды северной части Карского моря в летний период всегда слегка перенасыщен кислородом. Это обуславливается поступлением сюда поверхностных арктических вод, богатых кислородом, и обогащением кислородом при таянии льдов, в результате которого в морскую воду поступают питательные вещества,

способствующие интенсивному развитию процесса фотосинтеза. В сентябре 2012 г. насыщение поверхностного слоя воды кислородом северного района Карского моря составляло 101–102 %, по данным 28-го рейса на НЭС «Академик Федоров» и экспедиции «БАРКАЛАВ» насыщение воды кислородом в сентябре 2008 г. было 101–103 %.

Поверхностный слой воды юго-западного и западного районов моря был перенасыщен кислородом (101–104 %). Баренцевоморские воды, поступающие в Карское море через проливы Карские Ворота и Югорский Шар, обеспечивают хорошую аэрацию поверхностного слоя воды юго-западной части Карского моря. Также при таянии Новоземельского ледяного массива создаются благоприятные условия для развития фитопланктона, а соответственно, и для насыщения воды кислородом.

В поверхностном слое воды Байдаракской губы наблюдался дефицит кислорода, который был равен 1–2 %. По климатическим данным поверхностный слой воды Байдаракской губы в августе–сентябре всегда слегка перенасыщен кислородом. Среднее содержание биогенных элементов в поверхностном слое воды Байдаракской губы было несколько выше, чем в центральной и северной частях моря. Концентрация кремния составляла 3,5–4,0 мкмоль/л, фосфатов – 0,22–0,35 мкмоль/л, то есть материковый сток оказывал непосредственное влияние на гидрохимические условия в Байдаракской губе в летний период. По архивным данным (1936–2008 гг.), средняя концентрация кремния составляет 3,5 мкмоль/л, средняя концентрация фосфатов – 0,12 мкмоль/л. Мы полагаем, что повышение содержания биогенных элементов в морской воде происходит из-за увеличения стока органического вещества, растворенных форм железа, загрязняющих веществ, выносимых с материковыми водами, так как изменяются природные условия в том числе и из-за расширения промышленно-хозяйственной деятельности.

Особенности вертикального распределение растворенного кислорода

По климатическим данным (1935–1999 гг.), морская вода, под влиянием речного стока, в Обско-Енисейском районе, как правило, стратифицирована по вертикали. В поверхностном слое воды, толщиной 5–10 м, средняя концентрация кислорода равна 8,03 мл/л, насыщение воды кислородом составляет 95,5 %. В слое пикноклина, толщиной 5 м, средняя концентрация кислорода равна 7,28 мл/л, насыщение воды кислородом – 86,8 %. В придонном слое воды абсолютное значение кислорода – 6,50 мл/л, относительное содержание кислорода – 77 %. По данным нашей экспедиции, морская вода в Обь-Енисейском районе была достаточно хорошо перемешана. Соответственно концентрации растворенного кислорода с глубиной практически не менялись. Средние абсолютные значения кислорода были 6,77–7,43 мл/л, относительные значения кислорода соответственно варьировались в пределах 84,9–96,8 %.

Вода в Байдаракской губе была также хорошо перемешана, содержание растворенного кислорода по всей глубине было достаточно однородным. Средняя концентрация кислорода равнялась 5,66–6,69 мл/л, что соответствует 88,5–100,7 %. Однако в районе морского перехода газопровода на двух станциях было обнаружено аномально низкое содержание кислорода в придонном слое воды – 3,45 мл/л и 3,54 мл/л, что соответствует 50 % и 53,6 % насыщению воды кислородом. По климатическим данным (1936–2008 гг.) были зарегистрированы единичные случаи низких значений кислорода в придонном слое воды, однако концентрация кислорода в 2012 г. является аномально низкой. Низкое содержание кислорода может отразиться на функционировании морской экосистемы Байдаракской губы. Наиболее вероятной причиной низкой концентрации кислорода авторы считают наличие загрязняющих веществ в придонном

слое воды, но достоверных оценок по содержанию загрязняющих веществ в воде нет. Также мы предполагаем, что в результате интенсивного взмучивания донных осадков (наблюдалось сильное волнение) придонный слой воды мог обогатиться растворенными формами железа и органическим веществом за счет поступления иловых вод, богатых этими веществами из тонкодисперсных донных осадков Байдарацкой губы. Непосредственных данных о содержании растворенного железа в донных осадках Байдарацкой губы нет. Но при исследовании южной мелководной равнины Карского моря, в состав которой входит и Байдарацкая губа, в 1969–1972 гг. гидрохимический анализ проб морской воды показал, что содержание растворенного кислорода уменьшается в направлении ко дну и заметно увеличивается содержание кремния на станциях, где в донных осадках были обнаружены железомарганцевые конкреции [Кошелев, 1984]. Летом 2012 г. на одной из станций, где наблюдалось низкое содержание кислорода, концентрация кремния в придонном слое воды была 8,52 мкмоль/л, а концентрация фосфатов – 0,50 мкмоль/л. Здесь низкое значение кислорода также могло быть вызвано интенсивным процессом разложения органического вещества, в результате чего происходило накопление минеральных форм биогенных веществ в придонном слое воды.

Трансформированная атлантическая водная масса оказывает непосредственное влияние на гидрохимические условия северного района Карского моря. На разрезе, выполненном вдоль 77° с.ш. от мыса Желания до 84,16° в.д., наблюдалось перенасыщение поверхностного слоя воды кислородом – 102 %. Абсолютное значение кислорода в западной части разреза было 7,5 мл/л, в восточной части разреза абсолютные значения растворенного кислорода немного больше – 7,9 мл/л, это связано с тем, что вода здесь имеет меньшую соленость, чем в западной части разреза. По вертикальному распределению растворенного кислорода на разрезе определили, что трансформированная атлантическая водная масса залегает на глубине 100 м и до дна. Трансформированная атлантическая водная масса характеризуется небольшим содержанием растворенного кислорода, летом 2012 г. абсолютное содержание кислорода было 7,13 мл/л, что соответствовало 90,2 % насыщению воды кислородом. Также атлантическая водная масса выделялась по относительно высоким концентрациям биогенных элементов, содержание кремния ней составляло 5 мкмоль/л, содержание фосфатов – 0,7 мкмоль/л. Атлантическая водная масса в желобе Св. Анны также характеризовалась пониженным содержанием кислорода – 7,10 мл/л, что соответствовало 90 % насыщению морской воды кислородом (разрез от о. Визе до о. Хейса архипелага Земля Франца-Иосифа).

Среднее абсолютное значение растворенного кислорода в верхнем квазиоднородном 10–25 м слое воды в Новоземельской впадине было 6,87 мл/л, относительное содержание кислорода – 100 %. В слое воды 25–50 м выделялся максимум кислорода, среднее абсолютное значение кислорода – 8,57 мл/л, относительное значение – 106,8 %. Начиная с глубины 100 м содержание кислорода в воде монотонно убывает, среднее абсолютное значение кислорода – 7,00 мл/л, относительное значение – 84 %. В придонном слое воды Новоземельского желоба происходит накопление минеральных форм фосфора и кремния за счет разложения органического вещества, в результате наблюдался значительный дефицит кислорода, который был равен 20–22 %. В северной части Новоземельской впадины (75° с.ш.) в придонном слое был отмечен приток относительно теплых вод, которые вентилировали придонный слой Новоземельского

желоба. Температура воды придонного слоя воды была $-0,42^{\circ}\text{C}$, концентрация растворенного кислорода – $7,19\text{ мл/л}$, насыщение воды кислородом – 88% , температура выше лежащего слоя воды была $-0,85^{\circ}\text{C}$, концентрация кислорода – $6,94\text{ мл/л}$, насыщение воды кислородом – 84% .

Как было отмечено выше, яркой особенностью вертикального распределения растворенного кислорода в летний период в Карском море является наличие максимума содержания кислорода в промежуточном слое воды – в слое пикноклина (рис. 2). Значение вертикального градиента величины концентрации растворенного кислорода достигало $0,09\text{ (мл/л)/м}$ или $0,7\text{ \%/м}$ по данным настоящей экспедиции. В северной части Карского моря максимум кислорода наблюдался в среднем на глубине 45 м . В центральной части моря на глубине 30 м , в юго-западной части моря на глубине 40 м . Происхождение максимума растворенного кислорода в промежуточном слое воды объясняют оптимальной глубиной развития фитопланктона, в результате чего в воду поступает кислород. Оптимальная глубина развития фитопланктона определяется

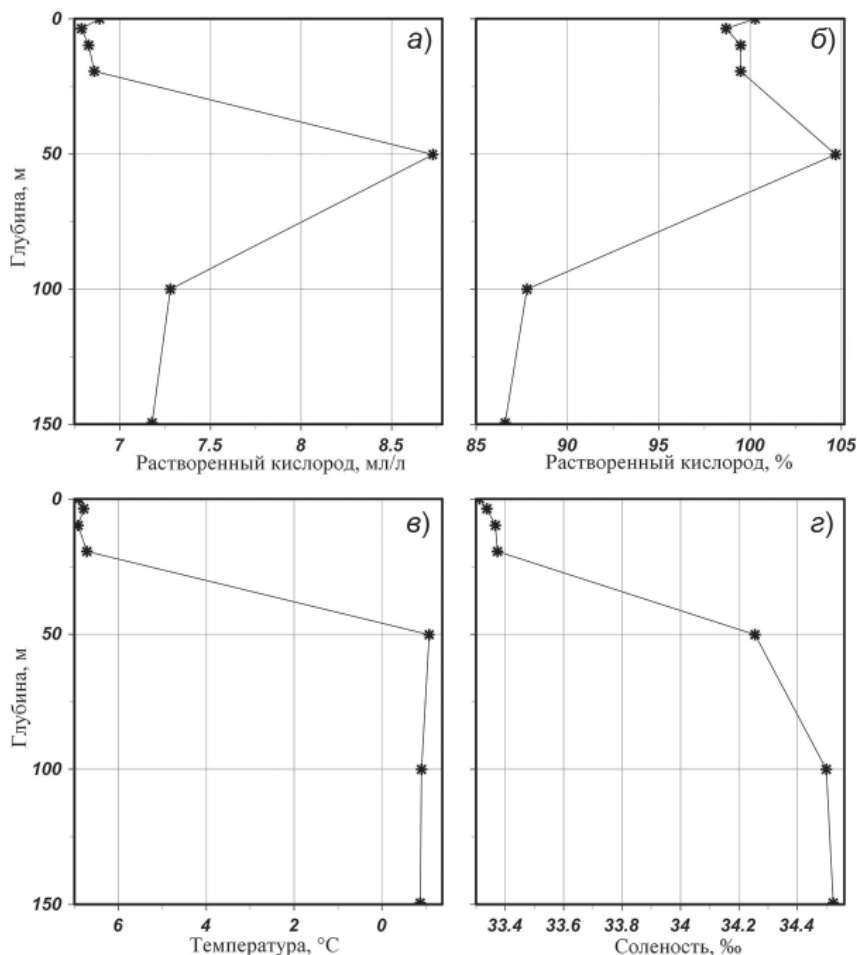


Рис. 2. Вертикальное распределение растворенного кислорода в мл/л (а), растворенного кислорода в % насыщения (б), температуры воды в $^{\circ}\text{C}$ (в) и солености в ‰ (г) на станции № 67.

совокупностью следующих параметров: прозрачностью воды, наличием питательных веществ, температурой воды [Русанов, Яковлев, Буйневич, 1979; Романкевич, Ветров, 2001]. Однако до настоящего времени существование оптимальной глубины развития фитопланктона, как правило, в промежуточном слое воды не было подтверждено или опровергнуто биологическими исследованиями. По мнению С.В.Пивоварова, максимум кислорода в промежуточном слое воды летом – это результат развития фитопланктона в поверхностном слое воды возле кромки льда до начала интенсивного таяния льда весной. Перенасыщенный кислородом «весенний» поверхностный слой воды при интенсивном таянии льда летом перекрывается верхним квазигомогенным слоем воды. Таким образом, богатые кислородом поверхностные «весенние» водные массы попадают в промежуточный слой воды летом. Наличие пикноклина позволяет поверхностным «весенним» водным массам, оказавшись в промежуточном слое воды летом, сохранять свои свойства вплоть до осени [Пивоваров, 2000]. Важным фактором для развития процесса фотосинтеза является глубина проникновения солнечной ради-

Таблица

Оптические свойства воды.

№ станции	Глубина максимума O ₂ , м	Проникающая радиация, %	Прозрачность по диску Секки, м
39	40	1,2	46
43	50	1,4	53
47	50	0	51
48	50	1,9	43
52	25	3,9	47
53	20	3,1	44
54	20	0,7	21
56	15	1,5	14
68	50	2	38
69	50	1	38
70	30	7	38
71	25	11,2	39
72	25	6,8	38
74	45	1	42
81	40	0,9	29
82	50	0	27
83	50	0	29
85	25	1,4	27
92	50	0	31

ации. В настоящей экспедиции были проведены измерения оптических характеристик морской воды. В таблице представлены глубина проникновения солнечного света, определенная по диску Секки, и относительные значения проникающей солнечной радиации на горизонтах, где наблюдались максимумы кислорода. Глубина проникновения солнечного света, определенная по диску Секки, и относительные значения проникающей солнечной радиации в целом достаточно хорошо согласуются между собой. Видно, что, как правило, горизонт, на котором наблюдался максимум кислорода, находится на нижней границе или ниже эвфотического слоя. На станциях № 52, 53, 70, 71, 72 на глубину максимума кислорода проникало больше 1 % солнечной радиации,

то есть теоретически здесь возможно совпадение оптимальной глубины для развития фитопланктона и глубины максимума кислорода. Следует также отметить, что на этих станциях глубина максимума кислорода не превышала 25 м, в то время как на станциях, где до глубины максимума кислорода солнечный свет практически не доходил, эта глубина могла достигать 50 м. Мы полагаем, что на станциях, где наблюдался максимум кислорода в слое ниже 25 м, максимум кислорода – результат опускания поверхностных «весенних» водных масс. На станциях, где максимум кислорода наблюдался в слое 25 м или выше, не исключено биологическое происхождение максимума кислорода в результате цветения фитопланктона на этой глубине в летний период.

Особенности распределения кремния в поверхностном слое воды

Растворенный неорганический кремний является наиболее объективной характеристикой для выделения речных вод в арктических морях. Границей распространения речного стока в Карском море можно считать изолинию содержания кремния 9 мкмоль/л. По распределению кремнекислоты в поверхностном слое Карского моря в августе–сентябре 2012 г. видно, что речные воды из Обской губы и Енисейского залива распространялись на северо-восток в направлении Северной Земли, не затрагивая при этом центральный район моря (рис. 3а). Такое распределение речного стока характерно для гидрометеорологических условий, при которых усиливаются Восточно-Новоземельское и Западно-Таймырское течения. Это восточный вариант распространения речного стока в Карском море, который происходит нечасто. По данным экспедиции «БАРКАЛАВ» 2007 и 2008 гг. и по данным 28-го рейса на НЭС «Академик Федоров», в 2008 г. северный район моря вплоть до оконечности м. Желания архипелага Новая Земля и центральный район моря были заняты распресненными и богатыми биогенными элементами водами речного происхождения. Это свидетельствует об усилении течений Св. Анны и Ямальского, которые способствуют северо-западному переносу речных вод (рис. 3б). Это юго-западный вариант распространения речного стока в Карском море [Иванов, Русанов, Гордин, Осипова, 1984].

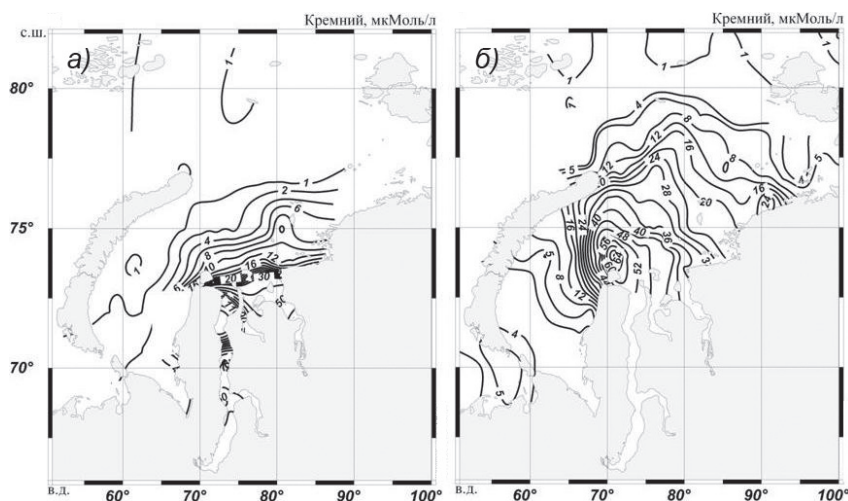


Рис. 3. Распределение кремния в мкмоль/л в поверхностном слое воды в августе–сентябре 2012 г. (а) и распределение кремния в мкмоль/л в поверхностном слое воды в августе–октябре 2007–2008 гг. (б).

Общая характеристика изменчивости биогенных элементов и хлорофилла «а»

Наибольшая пространственная неоднородность в распределении минерального кремния наблюдалась в слое воды 0–30 м. Содержание кремния здесь менялось в пределах 0,15–150 мкмоль/л. Наибольшее содержание кремния было отмечено в Обской губе, наименьшее в северной части Карского моря. Как правило, концентрация кремния в приустьевых районах моря не превышает 110 мкмоль/л. Содержание кремния в северном и центральном районах моря в слое 0–30 м не превышало 2,7 мкмоль/л. Концентрация кремния в хорошо перемешанной воде Байдарацкой губы была в пределах 2,17–5,22 мкмоль/л. В юго-западной части моря в слое 0–30 м концентрация кремния изменялась от 0,19 мкмоль/л до 3,03 мкмоль/л. Вертикальное распределение минерального кремния в Обь-Енисейском районе и в Байдарацкой губе было достаточно однородным. В северном районе моря в поверхностном однородном 0–25 м слое средняя концентрация кремния была 1,14 мкмоль/л, в промежуточном слое воды концентрация кремния резко увеличивалась и составляла 1,12–5,04 мкмоль/л, начиная с глубины 50–100 м и до дна концентрация кремния с глубиной увеличивалась незначительно, максимальная концентрация кремнекислоты в придонном слое воды составляла 9,75 мкмоль/л. В юго-западной части Карского моря в поверхностном 0–(25–50) м достаточно однородном слое воды средняя концентрация кремния составляла 1,5 мкмоль/л. Начиная с глубины 50 м содержание кремния в морской воде значительно увеличивалось, максимальная концентрация кремния наблюдалась в придонном слое воды южной части Новоземельской впадины и составляла 17,05 мкмоль/л. В придонном слое воды Новоземельского желоба существуют благоприятные условия для накопления минеральных форм фосфора и кремния за счет разложения органического вещества, которое опускается в придонный слой с вышележащих слоев.

Характер распределения минерального фосфора имеет общие черты с распределением минерального кремния. Наибольшая пространственная изменчивость наблюдалась в слое воды 0–20 м. В Обской губе концентрация фосфора достигала 1,79 мкмоль/л. В Байдарацкой губе содержание фосфатов менялось от аналитического нуля до 0,58 мкмоль/л. В северном районе Карского моря в верхнем 25 м, хорошо перемешанном слое воды концентрация фосфатов была в пределах 0,05–0,46 мкмоль/л. Средняя концентрация фосфора в верхнем 25 м слое воды в юго-западной части Карского моря составляла 0,15 мкмоль/л. В промежуточном слое воды, от 25 м до 75 м, в северном районе Карского моря концентрация фосфатов резко увеличивается с глубиной в среднем до 0,7 мкмоль/л. Начиная с 75 м и до дна концентрация фосфатов увеличивается незначительно, достигая в придонном слое воды 0,9 мкмоль/л. В юго-западном районе моря в промежуточном слое воды, от 25 м до 75 м, концентрация фосфатов менялась от 0,12 до 0,7 мкмоль/л. Начиная с 75 м и до дна содержание фосфатов увеличивалось незначительно. Максимальное содержание минерального фосфора было отмечено в придонном слое Новоземельской впадины и составило 1,07 мкмоль/л.

В целом, для Карского моря характерны достаточно высокие концентрации хлорофилла «а» в прибрежной зоне, подверженной стоку р. Оби и р. Енисея, и невысокие (около 0,2–0,5 мг/м³) в открытой части моря. Похожий характер распределения был в этой экспедиции. Концентрации хлорофилла «а» в перемешанном слое изменялись от 0,28 мг/м³ в районе Новоземельского желоба до 4,5 мг/м³ в пресноводном районе

Енисейского залива. Аномально высокое значение концентрации хлорофилла «а» было зарегистрировано в Обской губе в районе поселка Сабетта и составило 17,08 мг/м³, минимальное значение концентрации хлорофилла «а» за весь период экспедиции было получено в районе острова Вилькицкого и составило 0,22 мг/м³. Возможно, аномально высокое значение концентрации хлорофилла «а» в Обской губе можно объяснить тем, что измерения проводились в самый пик развития фитопланктона, что отмечалось даже визуально. Для вертикального распределения хлорофилла «а» в среднем характерно понижение с глубиной. Однако на станции, расположенной в районе Новоземельского желоба, было отмечено локальное увеличение концентрации на глубине пикноклина (от 0,6 мг/м³ до 0,71 мг/м³). В Байдарацкой губе значения концентрации хлорофилла «а» изменялись примерно от 0,4 мг/м³ до 0,7 мг/м³, в Обской губе от 1,58 мг/м³ до 17,08 мг/м³ в районе острова Белый, для Енисейского залива были характерны значения от 1,5 мг/м³ до 4,5 мг/м³ в самой пресноводной части залива. При сравнении полученных данных и данных 2007 г., описанных С.А.Мошаровым, значения концентрации хлорофилла «а» в 2012 г. были выше, чем в сентябре 2007 г. Среднее значение, по данным экспедиции «Ямал-Арктика», составило 1,16 мг/м³. По данным С.А.Мошарова, среднее значение составляло 0,76 мг/м³ [Мошаров, 2007]. Тем не менее при сравнении следует учитывать, что данные, полученные в 2007 г., относятся ко второй половине сентября, а исследования 2012 г. проводились с начала августа по середину сентября. Также исследования 2007 г. включали в себя более северные районы (желоб Св. Анны), в то время как в 2012 г. самые северные станции, на которых определялся хлорофилл «а», располагались на 77° с.ш.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен мониторинг химического состава вод Карского моря в летний период 2012 г. Получены оценки гидрохимических параметров, выявлены и проанализированы особенности гидрохимической структуры вод.

Выполнено исследование фронтальной зоны на границы взаимодействия речных и морских вод. Анализ распределения минерального кремния в поверхностном слое морской воды показал, что распространение речных вод в Карском море летом 2012 г. относится к восточному типу распространения речных вод. Содержание кремния в приустьевых районах моря было выше климатических норм.

Обнаружено аномально низкое содержание растворенного кислорода в придонном слое воды Байдарацкой губы, которое, по мнению авторов, связано с возможным загрязнением воды и возможным поступлением поровых вод, содержащих растворенное железо и органическое вещество. Был зафиксирован незначительный дефицит кислорода в поверхностном слое Байдарацкой губы, что не соответствует климатическим нормам. Возможные причины – изменения объема и химического состава материкового стока, которые вызваны изменением природных условий и увеличением хозяйственно-промышленной деятельности.

Проанализированы причины происхождения слоя максимума кислорода в слое сезонного пикноклина. По данным оптических характеристик воды можно предположить, что происхождение максимума кислорода глубже 25 м является следствием опускания поверхностных «весенних» водных масс, перенасыщенных кислородом, в промежуточный слой воды летом в результате таяния льдов. А на станциях, где наблюдался максимум кислорода на глубине 25 м и выше, не исключено, что вероятный источник повышенного содержания кислорода в этом слое – процесс фотосинтеза.

Установлено, что наибольшее содержание биогенных веществ наблюдалось в приустьевых районах моря, при этом содержание фосфатов и кремния в Обской губе было выше, чем в Енисейском заливе. Максимальная концентрация биогенных веществ в придонном слое воды была отмечена в Новоземельском желобе.

Аномально высокое содержание хлорофилла «а» было зафиксировано в Обской губе. В Новоземельском желобе отмечалось локальное увеличение концентрации хлорофилла «а» в слое пикноклина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иванов В.В., Русанов В.П., Гордин О.И., Осипова И.В. Межгодовая изменчивость распространения речных вод в Карском море // Тр. ААНИИ. 1984. Т. 368. С. 74–81.
- Кошелев Б.А. Железо-марганцевые конкреции Карского моря // Тр. ААНИИ. 1984. Т. 368. С. 119–127.
- Мошаров С.А. Распределение первичной продукции и хлорофилла «а» в Карском море в сентябре 2007 года // Океанология. 2010. Т. 50. № 6. С. 933–941.
- Пивоваров С.В. Химическая океанография арктических морей России. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 88 с.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: Наука, 2001. 302 с.
- Руководящий документ 52.10.736–2010 «Объемная концентрация растворенного кислорода в морских водах». М.: ФГУ «ГОИН», 2010. 19 с.
- Руководящий документ 52.10.744–2010 «Массовая концентрация кремния морской воде». М.: ФГУ «ГОИН», 2010. 13 с.
- Руководящий документ 52.10.738–2010 «Массовая концентрация фосфатов в морских водах». М.: ФГУ «ГОИН», 2010. 27 с.
- Русанов В.П., Яковлев Н.И., Буйневич А.Г. Гидрохимический режим Северного Ледовитого океана // Тр. ААНИИ. 1979. Т. 355. 144 с.
- Wasmund N, Topp I, Schories D. Optimising the storage and extraction of chlorophyll samples // Oceanologia. 2006. Vol. 48. P. 125–144.
- Welschmeyer N.A. Fluorometric analysis of chlorophyll A in the presence of chlorophyll-b and pheopigments. Limnol // Oceanologia. 1994. Vol. 39. P. 1985–1992.

O.A.MOROZOVA, A.V.VESMAN, E.D.DOBROTINA, A.D.TARASENKO, N.K.SHUMSKAYA,
P.Y.LAVRENTYEV, V.A.ONOSKO

THE HYDROCHEMICAL CONDITIONS IN THE KARA SEA IN SUMMER 2012

The results of hydrochemical observations received in the «Yamal-Arctic» expedition in August-September 2012 are considered. The river waters were spreading north-east toward the Severnaya Zemlya Archipelago. Silicate concentration in the Ob' Bay reached 150 μM , which exceeds the average climatic values. The abnormally low dissolved oxygen concentration in the bottom waters of the Baidara Bay was found. It might be caused by inflow of pore waters, containing dissolved forms of iron and organic matter. A slight oxygen deficiency in the surface layer of the Baidara Bay has been found. It is most likely due to mainland runoff and nutrient concentrations indicated this. The oxygen deficit has not been observed in previous years. The intermediate dissolved oxygen maximum was observed. The possible causes of the oxygen maximum formation were interpreted. The spatial variability of the silicate, phosphate and chlorophyll-concentrations was analyzed. The local increase of the chlorophyll A concentration in the pycnocline layer was noted in the Novaya Zemlya trench.

Keywords: The Kara Sea, dissolved oxygen, nutrients, chlorophyll A, river run-off.