

**НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО ГИДРОЛОГИИ  
ПРИДОННОГО СЛОЯ КАРСКОГО МОРЯ  
(ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БАРКАЛАВ-2007 И БАРКАЛАВ-2008)**

вед. инж. Л.А.ЕРМАКОВА<sup>1</sup>, зав. лаб. А.Е.НОВИХИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ВНИИОкеангеология им. И.С.Граммберга, Санкт-Петербург, livia77@inbox.ru

<sup>2</sup> ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, andrej.novikhin@gmail.com

*В статье анализируется распределение полей температуры, солёности и плотности на придонных горизонтах Карского моря по данным экспедиционных исследований 2007 и 2008 гг.*

*Температура, наблюдаемая на указанной акватории в 2008 г., в целом выше, а солёность — несколько ниже по сравнению с 2007 г. Оба года наибольшие значения температуры (до +10,77 °С) и наименьшие солёности (от 27,98 ‰) отмечаются в Байдарацкой губе, вдоль западного побережья п-ова Ямал и к северу от о. Белый; при этом обнаруживается ряд отличий в пространственном распределении изучаемых характеристик. Положительные, хотя и низкие (не более +1,07 °С), величины температуры и наибольшие солёности (34,79–34,97 ‰) наблюдаются в глубоководных желобах северной части Карского моря (Святой Анны и Воронина). Большая часть придонных горизонтов Карского моря занята водными массами, имеющими отрицательную температуру (причем с преобладанием температур ниже –1 °С) и солёность 34–34,4 ‰.*

*На плотность водных масс решающее влияние оказывает их солёность, а не температура.*

*Анализ полученных в 2007 и 2008 гг. данных в целом подтверждает выявленные ранее закономерности распределения температуры, солёности и плотности в придонном слое Карского моря.*

*Ключевые слова: Карское море, БАРКАЛАВ, придонный слой, придонные температура, солёность и плотность, речной сток, атлантические воды.*

**ВВЕДЕНИЕ**

На протяжении двух лет (со 2 августа по 9 ноября 2007 г. и со 2 августа по 30 октября 2008 г.) в шельфовых морях Российской Арктики (Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском) проводились комплексные научные исследования по программам экспедиций БАРКАЛАВ-2007 и БАРКАЛАВ-2008 (в рамках целевой научно-технической программы по подпрограмме «Морские исследования в Арктике, на морях России, континентальном шельфе и в Мировом океане. Модели и технологии морских прогнозов и расчетов», а также в рамках Международного полярного года 2007/08).

В результате был получен значительный массив данных по гидрологии и гидрохимии шельфовых морей российского сектора Арктики. Ввиду их большого объема в данной работе будет рассмотрено только одно море — Карское, и то лишь в аспекте распределения температуры и солёности на придонных горизонтах водной толщи. Чаще внимание исследователей направляется на изучение поверхностного слоя, большая изменчивость которого делает его, безусловно, более интересным. Вместе с тем данные о распределении гидрологических характеристик на придонных горизонтах не менее актуальны как для создания общей картины гидрологического режима той или иной акватории, так и для решения конкретных задач, в том числе и в смежных отраслях знания. В частности, данные о придонных температуре и солёности необходимы для прогнозирования области распространения многолетней

мерзлоты, для расчетов зоны стабильности газовых гидратов и др. Также следует отметить, что в ходе работ вышеназванных экспедиций зондирующее оборудование опускалось на максимально возможные глубины (как можно ближе ко дну), поэтому полученные данные отражают действительно придонные температуру и соленость и являются в этом смысле уникальными.

#### ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ

На океанографических станциях осуществлялись зондирование водной толщи и отбор проб морской воды с помощью океанологического комплекса, состоящего из зонда SBE 19plus SEACAT Profiler (оснащенного дополнительными датчиками для измерения мутности, содержания в воде растворенного кислорода и флуоресценции), бестросовой розетты SBE 32C Carousel Water Sampler (Compact) с 12 пластиковыми батометрами объемом 5 л, устройства для автоматического закрытия батометров на заданных горизонтах The Carousel Auto-Fire Module (AFM) и судовой гидравлической лебедки. Все оборудование (за исключением лебедки) – производства фирмы Sea-Bird Electronics Inc., США.

CTD-зондирование выполнялось на каждой океанографической станции. Исследования проводились в соответствии с Руководством по гидрологическим работам в океанах и морях [Руководство..., 1977]. Полученные гидрологические данные были обработаны с помощью программного обеспечения SEASOFT-Win32 и проанализированы с использованием программы Ocean Data View [URL: <http://odv.awi.de>].

В 2007 г. было выполнено 144 океанографические станции (с 7 по 22 августа и с 23 сентября по 19 октября), а в 2008 г. – 221 станция (с 9 по 22 августа и с 7 по 31 октября) (рис. 1а, 1б). Более благоприятная в 2008 г. по сравнению с 2007 г. ледовая обстановка в северной части Карского моря в октябре позволила расширить район проведения работ: выполнить разрез вдоль 80° с.ш., а остальные разрезы продолжить восточнее.

К сожалению, из-за большого объема работ интервал изменений между отдельными станциями в пределах моря может достигать 1–2 месяцев и фактически приходится на разные сезоны, что было учтено при комплексном анализе элементов гидрологического режима.

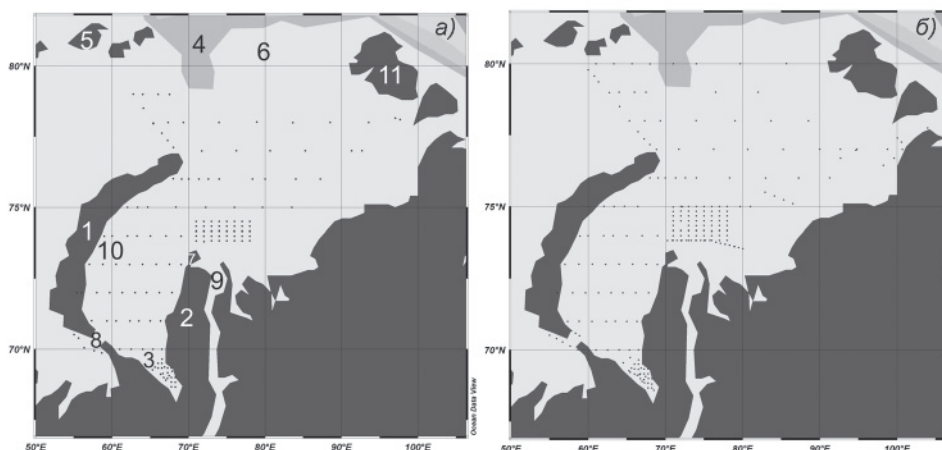


Рис. 1. Станции, выполненные в Карском море в 2007 (а) и 2008 (б) гг.

1 – Новая Земля, 2 – полуостров Ямал, 3 – Байдаракская губа, 4 – желоб Святой Анны, 5 – Земля Франца-Иосифа, 6 – желоб Воронина, 7 – о. Белый, 8 – пр. Карские Ворота, 9 – Обская губа, 10 – Новоземельский желоб, 11 – Северная Земля

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИДОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В 2007 г.

Как показывает анализ распределения температуры воды на придонных горизонтах в 2007 г. (рис. 2а), наибольшие ее значения отмечаются в Байдарацкой губе (от +9,42 °С на глубине 15 м до +1,43 °С на глубине 18 м) и вдоль западного побережья полуострова Ямал (от +5 °С на глубине 40 м до +1 °С на глубине 72 м). Также выделяется небольшое пятно с температурой до +2 °С на мелководном (около 29 м) участке в районе 75° с.ш., 72°24' в.д. (120 миль к северу от устья Байдарацкой губы).

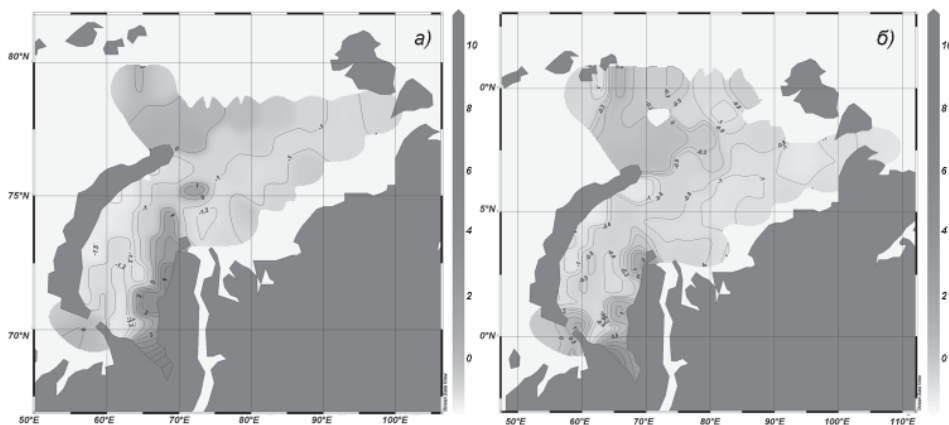


Рис. 2. Пространственное распределение температуры воды на придонных горизонтах Карского моря в 2007 (а) и 2008 (б) гг.

Отчетливо прослеживается деление Байдарацкой губы на две части: южную-юго-западную, имеющую более высокую температуру, и северную, где температура ниже. Первая из них, более мелководная, прогревается сильнее (собственно говоря, практически вся водная толща в этой части губы, по сути, является верхним квазиоднородным слоем). В северной же, более глубоководной, части в летний период происходит взаимодействие распресненных вследствие речного стока и таяния льда вод залива с водами юго-западной части Карского моря (в которых основную роль играют поступающие через южные Новоземельские проливы и движущиеся к Ямалу баренцевоморские воды [Добровольский, Залогин, 1982]). Данное обстоятельство приводит к расслоению водной толщи, препятствующему распространению прогрева в слои, расположенные глубже скачка плотности. Следует отметить, что на выходе из губы придонная температура уже отрицательная (–0,52 °С на глубине 37 м).

Аналогичная картина наблюдается и в районе Обско-Енисейского мелководья, где интенсивный радиационный прогрев и обильный речной сток приводят к формированию опресненного слоя, препятствующего проникновению тепла вглубь.

Обращает на себя внимание тот факт, что у западного побережья Ямала на больших глубинах наблюдаются более высокие температуры придонной воды, чем в Байдарацкой губе. Видимо, это связано с прохождением здесь, в области склона дна (переход глубин от 18–20 к 100–120 м), фронтальной зоны Ямальского течения, несущего в себе теплые баренцевоморские воды [Зацепин и др., 2010]. Кроме того, характерной чертой данного участка является высокий уровень вертикального перемешивания (причина которого – диссипация энергии средних и приливных течений) [Зацепин и др., 2010], что способствует расширению верхнего

квазиоднородного слоя и проникновению тепла вследствие притока солнечной радиации на большие глубины. Также следует учитывать, что измерения в данном районе выполнялись в третьей декаде октября, следовательно, уже могла начаться термическая конвекция.

Следующий выделяющийся на карте участок – южная часть желоба Святой Анны. Температуры здесь варьируют преимущественно от 0 до +0,56 °С (на глубинах 214–419 м) и лишь на отдельных станциях опускаются до –0,77...–0,89 °С (на глубинах 412 и 207 м соответственно). Положительные температуры на столь больших глубинах объясняются происхождением водных масс, представляющих собой результат взаимодействия теплых (+1...+2 °С) атлантических вод, поступающих из Арктического бассейна, с более холодными (0...–1 °С) баренцевоморскими водами, втекающими в Карское море в районе мыса Желания [Пивоваров, 2000; Тимофеев, 1961]. Последние также имеют атлантическое происхождение, но вследствие глубокой трансформации в Баренцевом море их температура уже ниже. Отрицательные температуры воды на отдельных участках говорят о влиянии водных масс, образующихся зимой на мелководной Центральной Карской возвышенности и сползающих затем вниз вдоль ее западного склона [Пивоваров, 2000].

Подавляющая часть придонных горизонтов Карского моря занята водами, имеющими отрицательные температуры, причем преобладающими являются температуры ниже –1 °С. Минимальная из них, зафиксированная в 2007 г., составила –1,62 °С (в Новоземельском желобе (73° с.ш, 58° 79' в.д.) на глубине 399 м). Столь низкие температуры свидетельствуют о зимнем происхождении расположенных здесь водных масс. Образующиеся в поверхностном слое в период активного ледообразования холодные и соленые воды затем распространяются вглубь посредством конвекции (в относительно мелководных районах конвективное перемешивание полностью уничтожает галоклин и проникает до дна [Залогин, 1963; Пивоваров, 2000]) либо постепенно стекают в более глубоководные образования рельефа (предположительно, именно так формируются глубинная и придонная воды Новоземельской впадины – под влиянием стекания соленой и холодной воды с шельфа Новой Земли [Зацепин и др., 2010]).

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИДОННОЙ СОЛЕННОСТИ В 2007 г.

В распределении солёности (рис. 3а), так же как и температуры, выделяются Байдарацкая губа и участки, прилегающие к полуострову Ямал. Именно в этих районах отмечаются ее наименьшие значения: 28,83–34,42 ‰ в Байдарацкой губе, 29,91–33 ‰ к западу от мыса Харасавэй и 29,36–33 ‰ – у острова Белый и к северу от него. Четкое деление Байдарацкой губы на две части (менее соленую южную-юго-западную и более соленую северную) объясняется сильным распреснением первой вследствие таяния льда и речного стока и влиянием на вторую более соленых баренцевоморских вод, доминирующих в прилегающей части моря. Низкие значения солёности к западу от м. Харасавэй, видимо, связаны со стоком рек в этом районе (реки Се-Яха, Наду, Харасавэй, Тиутей и другие, более мелкие).

Сильно распресненный участок в районе о. Белый и к северу от него является частью более обширной зоны также с пониженными (хотя и несколько более высокими) величинами солёности (в районе к северу от Обской и Гыданской губ и Енисейского залива она составляет 31,80–33,02 ‰, а еще немного северо-восточнее (к северо-западу от п-ова Таймыр) – 33–33,39 ‰). Вся эта акватория относится к зоне непосредственного влияния речного стока. Отрицательные температуры свидетельствуют о зимнем происхождении придонных водных масс в данном районе, а конвективное перемешивание (главным образом, вследствие ледообразования) служит механизмом распространения низких значений солёности на придонные горизонты.

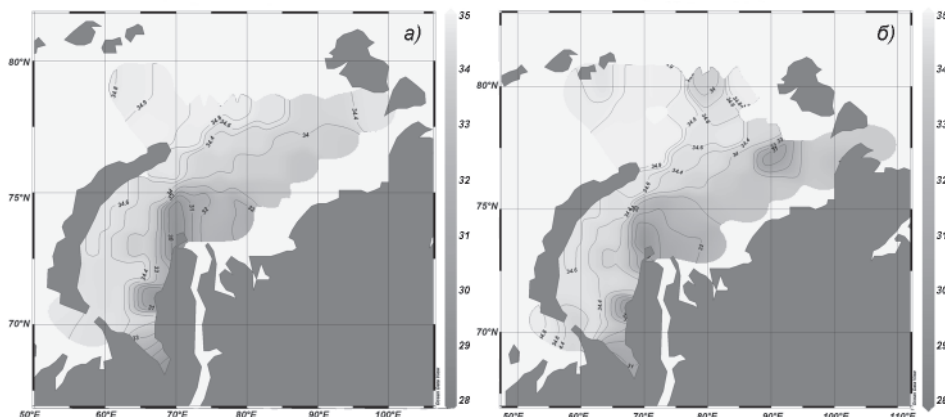


Рис. 3. Пространственное распределение солёности воды на придонных горизонтах Карского моря в 2007 (а) и 2008 (б) гг.

Сравнительно мелководные участки с наименьшими значениями солёности «окаймляются» чуть более глубокой (до 77 м) полосой, где величины несколько выше: 33,4–34 ‰.

Максимальная солёность отмечается в желобе Святой Анны (34,79–34,95 ‰) и в центральной (наиболее глубоководной: до 399 м) части Новоземельского желоба (34,6–34,7 ‰). В первом случае это объясняется поступлением вод атлантического происхождения, а во втором – участием в формировании местных водных масс баренцевоморских вод, затекающих с Восточно-Новоземельским течением (вне зависимости от ставшего дискуссионным в последние годы направления его движения [Зацепин и др., 2010]).

Глубинные баренцевоморские воды, поступающие через проливы Карские Ворота и Югорский Шар, оказывают большое влияние и на довольно глубоководную крайнюю юго-западную часть моря: значения солёности на придонных горизонтах здесь 34–34,65 ‰ (наибольшее – у выхода из пролива Югорский Шар на глубине 201 м). Почти такие же (34–34,59 ‰) величины отмечаются в относительно глубоководном районе (до 180 м) у юго-западного побережья архипелага Северная Земля (к югу от острова Октябрьской Революции). Видимо, это связано с отсутствием влияния речного стока на данный участок, в том числе и из-за его глубины.

Остальная часть водных масс на придонных горизонтах Карского моря имеет солёность 34–34,4 ‰, что объясняется их зимним происхождением и опосредованным влиянием баренцевоморских и атлантических вод.

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИДОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В 2008 г. И СОПОСТАВЛЕНИЕ С ДАННЫМИ 2007 г.

В 2008 г. наибольшие значения температуры воды на придонных горизонтах (рис. 2б), так же как и в 2007 г., отмечаются в Байдарацкой губе (до +10,77 °С на глубине 10 м), но, в отличие от предыдущего года, ее уменьшение происходит не от юга и юго-запада к северу, а четко с запада на восток. Более того, на отдельных станциях в восточной и северной частях залива придонная температура была отрицательной: до –0,40 °С на востоке (глубина 18 м) и –1,6 °С на выходе из губы (глубина 35 м).

У западного побережья п-ова Ямал не сохранился довольно обширный район с относительно высокими температурами придонной воды, который наблюдался в 2007 г. О нем напоминают лишь два небольших участка: к западу от пролива

Малыгина с температурой  $+2,73$  °С на глубине 15 м и к западу от м. Харасавэй с температурой всего  $+0,55$  °С на глубине 17 м.

Можно предположить, что перечисленные различия связаны с особенностями ледовой обстановки в рассматриваемые годы. Позднее начало ледообразования осенью 2006 г. и положительные аномалии температуры воздуха в зимний период 2007 г. обусловили медленное нарастание толщины льда и формирование ее отрицательных аномалий (причем наиболее значимая аномалия была как раз в юго-западной части Карского моря:  $-30$  см). Преобладали однолетние тонкие и средние льды с небольшими включениями молодых льдов. Таяние ледяного покрова в морях началось ранее среднесезонных сроков, и уже в июне образовались обширные зоны чистой воды (в частности, за кромкой ямальского припая от Байдарацкой губы до о. Белый), что более характерно для июля. Припай как к югу от мыса Харасавэй (примерно до Марре-Сале), так и к северу от него был полностью взломан в очень ранние сроки – на две декады раньше обычного (в первой половине и в третьей декаде июня соответственно) [Обзор гидрометеорологических процессов... 2007, 2008; Обзор ледовых и гидрометеорологических условий... 2007].

К началу лета 2008 г. в арктических морях сложилась ситуация, во многом сходная с летом 2007 г.: положительные аномалии температуры воздуха, позднее ледообразование, преобладание однолетних льдов, крупные аномалии толщины льда, чрезвычайно быстрое очищение ото льда Карского моря начиная с июня и т.п. Вместе с тем пространственное распределение названных характеристик было несколько иным: в частности, аномалия толщины льда ( $15-30$  см на конец мая) отмечается в Обско-Енисейском районе, а не на юго-западе Карского моря, преобладают однолетние средние, а не тонкие льды и др. [Обзор гидрометеорологических процессов... II квартал 2008, 2008; Обзор гидрометеорологических процессов... III квартал 2008, 2008; Обзор гидрометеорологических процессов... 2008, 2009].

Сопоставление карт ледовой обстановки на конец июня и июль 2007 и 2008 гг. [Обзор гидрометеорологических процессов... 2007, 2008; Обзор ледовых и гидрометеорологических условий..., 2007; Обзор гидрометеорологических процессов... II квартал 2008, 2008; Обзор гидрометеорологических процессов... III квартал 2008, 2008] показывает, что в 2007 г. в Байдарацкой губе и прилегающем районе очищение поверхности моря ото льда в целом происходило быстрее и в несколько более ранние сроки, чем в 2008 г. Это обусловило более сильный прогрев водной толщи за счет поступления солнечной радиации, а меньшее распреснение (вследствие отрицательной аномалии толщины льда) позволило данному прогреву проникнуть глубже.

Вместе с тем в 2008 г. появился небольшой участок с положительными температурами у выхода из пролива Карские Ворота (до  $+2,85$  °С на глубине 50 м). Его возникновение, помимо поступления тепла с течением из Баренцева моря, можно объяснить опять же ледовой обстановкой на данном участке, более благоприятной по сравнению с предыдущим годом. Уже в начале августа 2008 г. пролив был в значительной степени свободен ото льда (в отличие от августа 2007 г., когда в течение всего месяца Карские Ворота были заблокированы сплоченными льдами, постепенно «сползавшими» вдоль Новой Земли в связи с устойчивыми воздушными потоками северо-восточного направления [Обзор гидрометеорологических процессов... 2007, 2008]), что обеспечило больший прогрев водной толщи, а начавшаяся, видимо, к середине октября термическая конвекция способствовала распространению тепла вглубь.

Как показывает сравнительный анализ (рис. 2а и 2б), температура воды на придонных горизонтах в 2008 г. в целом выше по сравнению с 2007 г. В частности, увеличилась площадь с положительными температурами в южной части желоба Святой Анны; кроме того, на ряде станций отмечены более высокие ее значения

(до +1,07 °С на глубине 367 м в районе 80° с.ш, 65° 67' в.д.). Также существенно возросла акватория, занятая водными массами с температурами выше –1 °С. А на станции, где в 2007 г. была зафиксирована температура –1,62 °С, в 2008 г. она составила –1,59 °С (наименьшее значение на придонных горизонтах, наблюдаемое в 2008 г. в Карском море).

Вероятно, увеличение температуры связано с несколькими причинами. Прежде всего с изменениями в теплосодержании атлантических вод, поступающих через пролив Фрама в Арктический бассейн, а затем и в Карское море. Изучению их роли и обогревающего влияния на глубинные воды Арктического бассейна и сопредельных морей посвящено немало исследований [например, Алексеев, Булатов и др., 1998; Панов, 1961; Панов, Шпайхер, 1963; Тимофеев, 1961; Тимофеев, 1962; Шпайхер, 1967; Шпайхер, Морецкий, 1966; Шпайхер, Федорова, 1969; Aksenov et al., 2010; Bauch et al., 2005; Dmitrenko et al., 2006; Rabe et al., 2001; Rudels et al., 2005]. При этом отмечалось, что отдача тепла атлантическими водами вглубь значительно меньше теплоотдачи вверх [Панов, Шпайхер, 1963].

В 2003–2004 гг. начался новый плавный, но неуклонный виток повышения температуры, а также увеличения толщины и общего теплосодержания атлантических вод в Евразийском суббассейне (предыдущий был в 1989–1993 гг., а в Американо-европейском суббассейне продолжился и в начале XXI в.), причем до величин, ранее здесь не наблюдававшихся [Алексеев и др., 1998; Алексеев и др., 2009; Алексеев и др., 2010; Ашик и др., 2010; Ашик, Соколов, 2008; Тимохов и др., 2009]. В 2007 г. (по сравнению с 2004–2005 гг.) в западной части Арктического бассейна температура ядра атлантических вод возросла на 0,5 °С, а толщина слоя – на 100–150 м (преимущественно за счет увеличения глубины их распространения) [Ашик, Соколов, 2008]. В отдельных местах в районе материкового склона Евразии и желобе Святой Анны значения температуры атлантических вод достигли своего максимума за весь исторический период наблюдений [Обзор гидрометеорологических процессов... 2007, 2008]. И хотя в 2008 г. она несколько понизилась (за исключением котловины Амундсена), но все равно продолжала оставаться выше средней климатической [Обзор гидрометеорологических процессов... 2008, 2009; Тимохов и др., 2009]. При этом, учитывая время «добегания» атлантических вод от пролива Фрама до Карского моря, следует предположить, что на повышение температуры в его придонных слоях в 2008 г. по сравнению с 2007 г. оказало влияние увеличения теплосодержания атлантических вод не непосредственно в рассматриваемые годы, а в предшествующие<sup>1</sup>.

Изменения в теплосодержании атлантических вод, поступающих через пролив Фрама, сказываются и на соответствующих характеристиках баренцевоморских вод, тем самым также опосредованно влияя на Карское море.

Кроме того, в тех районах, где придонные водные массы образуются в результате распространения конвективного перемешивания до дна, определенное

<sup>1</sup> Данные о скорости перемещения атлантических вод в Арктическом бассейне и морях разнятся. Так, согласно Добровольскому, атлантические воды попадают в Карское море через 2 года (в Лаптевых – через 3), Тимофееву – через 1,5 года (в Лаптевых через 2,5 года) [приводится по Панов, Шпайхер, 1963]. В работе [Шпайхер, Федорова, 1969] указывается, что уменьшение поступления тепла и солей в Арктический бассейн сказалось на температуре и солености глубинных вод Карского моря примерно через 3 года. В соответствии с [Ашик, Кириллов и др., 2010], пик температуры атлантических вод, отмеченный в 1998 г. у м. Свиной, через год наблюдался в проливе Фрама, еще через 3,5 года – в северной части моря Лаптевых, а к 2006 г. положительная аномалия заполнила практически весь Евразийский суббассейн. Вторая положительная аномалия, отмеченная в проливе Фрама в 2004–2005 гг., была зафиксирована в 2006 г. между Шпицбергом и Землей Франца-Иосифа, а также в желобе Святой Анны [Там же]. Скорость адвекции при этом составляет 1,5 см/с [Обзор гидрометеорологических процессов... 2007, 2008].

влияние на изменение их температуры могут оказывать и соответствующие изменения температуры поверхностного слоя в предшествующем году. В данной связи необходимо отметить, что лето 2007 г. характеризовалось уникальным тепловым состоянием поверхностного слоя океана: на большей части акватории Северного Ледовитого океана и арктических морей поверхностная температура воды была значительно выше среднемноголетней [Обзор гидрометеорологических процессов... 2007, 2008], что, предположительно, повлияло и на температуру воды на придонных горизонтах в следующем году.

#### **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИДОННОЙ СОЛЕННОСТИ В 2008 г. И СОПОСТАВЛЕНИЕ С ДАННЫМИ 2007 г.**

Наименьшие значения солёности на придонных горизонтах Карского моря в 2008 г. (рис. 3б), так же, как и в 2007 г., отмечаются в Байдарацкой губе: от 27,98 до 33,91 ‰. При этом ее увеличение происходит аналогично соответствующему изменению температуры (с юго-запада на северо-восток), хотя и не так явно. Так же, как и в предыдущем году, выделяются два распресненных участка возле п-ова Ямал: к западу от м. Харасавэй (от 29,60 ‰ на глубине 17 м до 33,19 ‰ на 40 м) и у о. Белый и к северу и востоку от него (от 29,05 ‰ (на глубине 22 м) и выше). По сравнению с 2007 г., солёность несколько понизилась (в Байдарацкой губе – на 0,51–0,85 ‰, у п-ова Ямал – на 0,19–0,31 ‰). Еще один распресненный (29,16–33 ‰) очаг с глубинами, не превышающими 44 м, располагается в районе островов Сергея Кирова.

Наибольшие величины солёности опять же наблюдаются в глубоководных желобах: в желобе Святой Анны – 34,8–34,97 ‰ (глубины до 412 м), в желобе Воронина – до 34,88 ‰ (на глубине 306 м), в Новоземельском желобе – 34,39–34,70 ‰ (максимальная – на горизонте 401 м). Приведенные данные незначительно отличаются от результатов измерений 2007 г. (разница на +0,02 ‰ в желобе Святой Анны и на –0,21 ‰ в Новоземельском желобе), несмотря на предполагаемое усиление экспансии атлантических вод. Таким образом, рост теплоемкости атлантических вод не сопровождается значимым увеличением солёности на придонных горизонтах изучаемого района, отчасти, видимо, оттого, что изменение температуры воды во времени не совпадает с колебаниями солёности из-за консервативности последней, и если в верхнем слое 5–25 м амплитуда колебаний солёности значительно превышает размах изменений температуры, то в слое 75–300 м амплитуда межгодовых колебаний температуры во много раз больше изменений солёности [Шпайхер, Федорова, 1969].

По сравнению с 2007 г., следует отметить увеличение площади зоны, занятой водами, имеющими солёность ниже 32 ‰, так же как и зоны с солёностью ниже 33,5 ‰, и более сильное их простираие в восточном направлении. В центральной части моря несколько сократилась площадь вод с солёностью 34–34,4 ‰, прежде всего за счет увеличения акватории, занятой водными массами с более низкой солёностью.

Можно предположить, что такие различия связаны с колебаниями в объеме речного стока в 2006 и 2007 гг.: понижения солёности отмечаются в относительно неглубоких районах, для которых характерно зимнее образование водных масс, на что, соответственно, оказывает влияние летняя солёность воды в предшествующем году (а возможно, и в предыдущие годы). Аномалии речного стока в Карское море в отдельные годы достигают  $\pm 240 \text{ км}^3/\text{г.}$ , а осредненные за пятилетия аномалии – до  $\pm 140 \text{ км}^3/\text{г.}$  [Аппель, Гудкович, 1984].

На ряде более глубоководных участков пониженные по сравнению с 2007 г. значения солёности связаны с большим таянием льда в 2008 г. и началом к моменту выполнения наблюдений (октябрь) термической конвекции. Влияние естествен-



ных колебаний таяния и выноса льдов может перекрыть воздействие даже самых больших природных аномалий речного стока [Аппель, Гудкович, 1984]. Вероятно, именно так образовались «пятна» возле пролива Карские Ворота (минимальная соленость 33,49 ‰ на глубине 50 м, которая, впрочем, быстро возрастает вместе с глубиной до 34,6 ‰) или в северной части Центральной Карской возвышенности к югу от о. Ушакова (в 2007 г. этот район не был охвачен наблюдениями из-за наличия ледяного покрова), где соленость составляет 33,96–34 ‰.

В заключение следует сказать несколько слов еще об одном механизме, способствующем развитию зимней вертикальной циркуляции и имеющем значение для формирования как полей солености, так и температуры, – это ветровое волнение. При перемешивании верхнего слоя его океанологические характеристики выравниваются и, соответственно, уменьшаются вертикальные градиенты плотности, что облегчает развитие вертикальной циркуляции [Залогин, 1963]. Особенно это актуально для мелководных районов зоны влияния речного стока, имеющих устойчивую стратификацию. И в 2007, и в 2008 гг. наиболее штормовыми месяцами в Карском море были сентябрь и октябрь с максимальным развитием волнения 5–8 м и 5–7 м [Обзор гидрометеорологических процессов... 2007, 2008; Обзор гидрометеорологических процессов... 2008, 2009]. Поскольку на значительной части акватории моря наблюдения проводились как раз в октябре, можно предположить соответствующее влияние ветрового волнения на распределение полей гидрологических характеристик придонного слоя.

И, наконец, определенное значение может иметь обмен веществом и энергией с донными осадками (зависящий от глубины места, рельефа дна, состава отложений, придонной циркуляции) [Пивоваров, 2000], но учет его влияния требует проведения дополнительных исследований.

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ

Анализ распределения плотности воды на придонных горизонтах показывает очень четкую его связь с распределением солености на тех же глубинах (рис. 3а, 3б, 4а, 4б), что является характерным для арктических морей [Добровольский, Залогин, 1982]. Наименьшие значения плотности наблюдаются, соответственно, в Байдарацкой губе (22,23–27,66 кг/м<sup>3</sup> в 2007 г. и 21,92–27,29 кг/м<sup>3</sup> в 2008 г.), у м. Харасавэй (23,80 кг/м<sup>3</sup> оба года), к северу от о. Белый (22,99–24,06 кг/м<sup>3</sup> в 2007 г. и 23,28–25,07 кг/м<sup>3</sup> в 2008 г.), а также (в 2008 г.) в районе островов Сергея Кирова

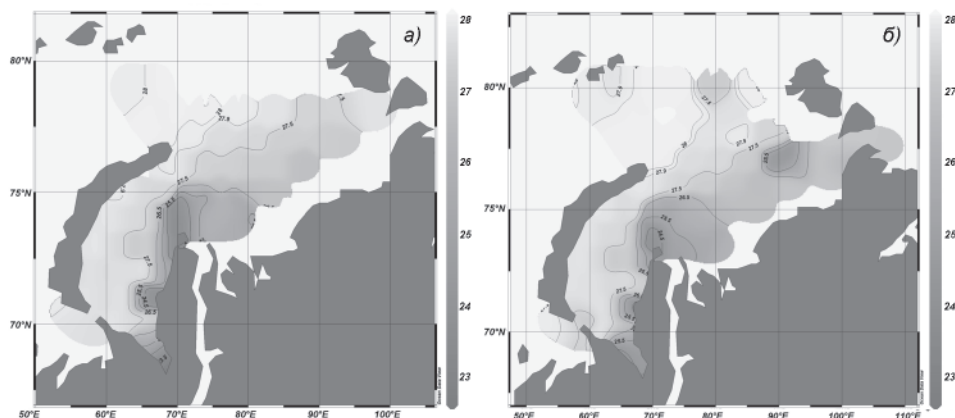


Рис. 4. Пространственное распределение плотности воды на придонных горизонтах Карского моря в 2007 (а) и 2008 (б) гг.

(23,53–24,68 кг/м<sup>3</sup>). Наибольшие – в глубоководных желобах: Святой Анны (27,93–28,05 кг/м<sup>3</sup> в 2007 г. и 27,96–28,07 кг/м<sup>3</sup> в 2008 г.), Воронина (28,02 кг/м<sup>3</sup> в 2008 г.) и Новоземельском (до 27,90 кг/м<sup>3</sup> и 27,93 кг/м<sup>3</sup> соответственно в 2007 и 2008 гг.).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с полученными в 2007 и 2008 гг. данными наибольшие значения температуры (до +10,77 °С) и наименьшие солености (от 27,98‰) отмечаются в Байдарацкой губе, вдоль западного побережья п-ова Ямал и к северу от о. Белый. Положительные, хотя и низкие (не более +1,07°С), значения температуры и наибольшие значения солености (34,79–34,97 ‰) наблюдаются в глубоководных желобах северной части Карского моря (Святой Анны и Воронина). Большая часть придонных горизонтов Карского моря занята водными массами, имеющими отрицательную температуру (причем с преобладанием температур ниже –1 °С) и соленость 34–34,4‰. Преобладающее влияние на плотность водных масс арктических морей оказывает их соленость, а не температура.

В 2008 г. температура, наблюдаемая на придонной акватории Карского моря, в целом выше, а соленость – несколько ниже по сравнению с 2007 г., что связано с особенностями метеорологических и ледовых процессов, изменениями в характеристиках и распространении атлантических (а следовательно, и баренцевоморских) вод, колебаниями объема речного стока в рассматриваемые и предшествующие годы. Кроме того, в 2008 г. отмечаются некоторые изменения в распределении температуры и солености в Байдарацкой губе и у западного побережья п-ова Ямал.

Следует отметить важность приведенных в работе данных для моделирования положения зоны стабильности газовых гидратов и/или области распределения и эволюции субквальной вечной мерзлоты.

В целом полученные данные по температуре, солености и плотности подтверждают выявленные ранее закономерности их распространения под влиянием как внешних, так и внутренних факторов. Выявление более детальных особенностей в распределении температуры и солености на придонных горизонтах водной толщи Карского моря требует дальнейшего анализа с привлечением результатов гидрохимических и термодинамических исследований, подробной метеорологической информации, а также данных предшествующих и последующих лет.

*Авторы статьи выражают искреннюю благодарность своим коллегам, принимавшим активное участие в получении фактического материала, используемого в данной работе: Руховцу К.Г., Колмакову А.Н., Мартынову Ф.М., Сергиенко И.С., Рындицу А.Б., а также Власенкову Р.Е. – за помощь в обсуждении текста статьи.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.В., Булатов Л.В., Захаров В.Ф., Иванов В.В.* Тепловая экспансия атлантических вод в Арктическом бассейне // Метеорология и гидрология. 1998. № 7. С. 69–78.
- Алексеев Г.В., Пнюшков А.В., Иванов Н.Е., Ашик И.М., Соколов В.Т., Головин П.Н., Богородский П.В.* Комплексная оценка климатических изменений в морской Арктике с использованием данных МПГ 2007/08 // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. Вып. 1 (81). С. 7–14.
- Алексеев Г.В., Радионов В.Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е.* Климатические изменения в Арктике и северной полярной области // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. Вып. 1 (84). С. 67–80.
- Аппель И.Л., Гудкович З.М.* Исследование возможных изменений средней солености верхнего слоя Карского моря, вызванных устойчивыми аномалиями речного стока // Проблемы Арктики и Антарктики. 1984. Вып. 58. С. 5–14.

- Ашик И.М., Кириллов С.А., Махитас А.П., Смирнов В.Н., Соколов В.Т., Тимохов Л.А.* Основные результаты морских исследований Арктики в XXI веке // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. Вып. 1 (84). С. 100–118.
- Ашик И.М., Соколов В.Т.* Основные итоги и предварительные научные результаты экспедиции «Арктика-2007» // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. Вып. 3 (80). С. 72–85.
- Добровольский А.Д., Залогин В.С.* Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982. 190 с.
- Зацепин А.Г., Морозов Е.Г., Пака В.Т., Демидов А.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М.* Циркуляция вод в юго-западной части Карского моря в сентябре 2007 г. // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 683–697.
- Залогин В.С.* Зимняя вертикальная циркуляция в Карском море // Вопросы географии. 1963. Сб. 62. С. 131–135.
- Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. 2007 / Под ред. Фролова И.Е. СПб.: ААНИИ, 2008. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2007.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2007.pdf) (дата обращения 29 января 2011 г.)
- Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. II квартал 2008 / Под ред. Фролова И.Е. СПб.: ААНИИ, 2008. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2008\\_2.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2008_2.pdf) (дата обращения 29 января 2011 г.)
- Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. III квартал 2008 / Под ред. Фролова И.Е. СПб.: ААНИИ, 2008. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2008\\_3.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2008_3.pdf) (дата обращения 29 января 2011 г.)
- Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. 2008 / Под ред. Фролова И.Е. СПб.: ААНИИ, 2009. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/GMO\\_08\\_light.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/GMO_08_light.pdf) (дата обращения 29 января 2011 г.)
- Обзор ледовых и гидрометеорологических условий в Арктике за 2006/2007 годы / Под ред. Фролова И.Е. СПб.: ААНИИ, 2007. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2007.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2007.pdf) (дата обращения 29 января 2011 г.)
- Панов В.В.* Роль атлантических вод в гидрологическом и ледовом режиме арктических морей (на примере Карского моря) // Проблемы Арктики и Антарктики. 1961. Вып. 8. С. 75–77.
- Панов В.В., Шнайхер А.О.* Влияние атлантических вод на некоторые черты гидрологического режима Арктического бассейна и сопредельных морей // Океанология. 1963. Т. 3. Вып. 4. С. 579–590.
- Пивоваров С.В.* Химическая океанография арктических морей России. СПб.: Гидрометеороиздат, 2000. 88 с.
- Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеороиздат, 1977. 752 с.
- Тимофеев В.Т.* Влияние глубинных атлантических вод на гидрологический режим Карского моря // Проблемы Севера. 1961. Вып. 4. С. 46–58.
- Тимофеев В.Т.* Влияние глубинных атлантических вод на образование и таяние льдов в море Лаптевых // Океанология. 1962. Т. 2. Вып. 2. С. 219–225.
- Тимохов Л.А., Ашик И.М., Гарманов А.Л., Карпий В.Ю., Кириллов С.А., Лебедев Н.В., Новихин А.Е., Поляков И.В., Соколов В.Т.* Океанографические условия в Арктическом бассейне и арктических морях по результатам натурных исследований в 2008 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 3 (83). С. 5–18.
- Шнайхер А.О.* О влиянии атлантических вод на формирование особенностей гидрометеорологических процессов в зимний период (На примере морей Карского и Лаптевых) // Известия Всесоюзного географического общества. 1967. № 2. С. 114–121.
- Шнайхер А.О., Морецкий В.Н.* Взаимосвязь зимних гидрометеорологических процессов в Карском море // Тр. ААНИИ. 1966. Т. 269. С. 13–18.
- Шнайхер А.О., Федорова З.П.* Колебания температуры воды Карского моря в течение последних десятилетий // Проблемы Арктики и Антарктики. 1969. Вып. 33. С. 13–22.
- Aksenov Y., Bacon S., Coward A.C., Nurser A.J.G.* The North Atlantic inflow to the Arctic Ocean: High-resolution model study // Journal of Marine Systems. 2010. Vol. 79. P. 1–22.

*Bauch D., Erlenkeuser H., Andersen N.* Water mass processes on Arctic shelves as revealed from  $^{18}\text{O}$  of  $\text{H}_2\text{O}$  // *Global and Planetary Change*. 2005. Vol. 48. P. 165–174.

*Dmitrenko I.A., Polyakov I.V., Kirillov S.A., Timokhov L.A., Simmons H.L., Ivanov V.V., Walsh D.* Seasonal variability of Atlantic water on the continental slope of the Laptev Sea during 2002–2004 // *Earth and Planetary Science Letters*. 2006. Vol. 244. P. 735–743.

*Rabe B., Karcher M., Schauer U., Toole J.M., Krishfield R.A., Pisarev S., Kauker F., Gerdes R., Kikuchi T.* An assessment of Arctic Ocean freshwater content changes from the 1990s to the 2006–2008 period. *Deep Sea Research Part I // Oceanographic Research Papers*. 2011. Vol. 58. P. 173–185.

*Rudels B., Bjrk G., Nilsson J., Winsor P., Lake I., Nohr C.* The interaction between waters from the Arctic Ocean and the Nordic Seas north of Fram Strait and along the East Greenland Current: results from the Arctic Ocean-02 Oden expedition // *Journal of Marine Systems*. 2005. Vol. 55. P. 1–30.

L.A.ERMAKOVA, A.E.NOVIKHIN

### **SOME DATA ON HYDROLOGY OF NEAR-BOTTOM WATER OF KARA SEA (ACCORDING TO DATA FROM BARKALAV-2007 AND BARKALAV-2008)**

*Distribution of fields of near-bottom temperature, salinity and density in Kara Sea according to data from 2007 and 2008 cruises is analyzed in the article.*

*Temperature observed on the mentioned water area in 2008, is generally higher, and salinity – is slightly lower in comparison with 2007. Both years maximal values of temperature (up to  $+10,77\text{ }^\circ\text{C}$ ) and minimal of salinity ( $27,98\text{ }‰$ ) were observed in Baydaratskaya Bay, along western shore of the Yamal Peninsula and to the north from Belyi Island. At the same time, some differences in distributions of studied characteristics were discovered. Positive, although low (no more than  $+1,07\text{ }^\circ\text{C}$ ), values of temperature and maximal values of salinity ( $34,79\text{--}34,97\text{ }‰$ ) were observed at deep-water troughs in northern part of Kara Sea (Svyataya Anna and Voronin). The most part of near-bottom horizons in Kara Sea were occupied by water masses with negative temperatures (with prevalence of temperatures lower than  $-1\text{ }^\circ\text{C}$ ) and salinity of  $34\text{--}34,4\text{ }‰$ .*

*Density of water masses depend on their salinity. Temperature does not have a strong influence on the water density.*

*Analysis of 2007–2008 data generally confirms previously identified patterns of distribution of near-bottom temperature, salinity and density in Kara Sea.*

*Keywords:* Kara Sea, BARKALAV, near-bottom layer, near-bottom temperature, salinity and density, river run-off, Atlantic waters.