

## ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ И АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2008 г.

*д-р физ.-мат. наук Л.А.ТИМОХОВ, канд. геогр. наук И.М.АШИК,  
науч. сотр. А.Л.ГАРМАНОВ, ст. науч. сотр. В.Ю.КАРПИЙ,  
канд. геогр. наук С.А.КИРИЛЛОВ, ст. науч. сотр. Н.В.ЛЕБЕДЕВ,  
мл. науч. сотр. А.Е.НОВИХИН, д-р физ.-мат. наук И.В.ПОЛЯКОВ,  
зав. отделом В.Т.СОКОЛОВ*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: ltim@aari.nw.ru*

*В статье представлены оценки термохалинного состояния Арктического бассейна и арктических морей по данным экспедиционных исследований летом 2008 г. Положительные аномалии поверхностной температуры воды и распределение поверхностного слоя летом 2008 г. наблюдались на значительной части Американо-Северного суббассейна. В Евразийском суббассейне от пролива Фрама вдоль материкового склона до моря Лаптевых фиксировалось осолонение поверхностного слоя, а поверхностная температура воды была в пределах нормы за исключением района пролива Фрама.*

*Средняя в слое температура атлантических вод и их максимальная температура в 2008 г. всюду была выше средней климатической. В то же время по сравнению с 2007 г. средняя и максимальная температуры атлантических вод понизились на 0,25–0,50 °С, общее теплосодержание и толщина атлантических вод уменьшились. В котловине Амундсена в 2008 г. наблюдалось небольшое увеличение температуры атлантических вод по сравнению с 2007 г.*

*Ключевые слова:* Арктический бассейн, поверхностный слой, атлантические воды, теплосодержание, аномалии поверхностной температуры и солёности.

### ВВЕДЕНИЕ

Конец прошлого столетия изобилует множеством неординарных событий в Арктике. В 1989 г. режим атмосферной циркуляции изменился в сторону уменьшения индекса высокоширотной зональности по циркумполярной зоне Северного полушария и увеличения повторяемости арктического антициклона [1]. Аномалии среднегодовых значений температуры воздуха в широтной зоне 72–85° с.ш. в конце 1990-х гг. стали положительными [2]. Изменился знак тренда средней солёности поверхностного слоя: в Канадском бассейне осолонение с 1950 до 1989 г. сменилось распреснением, а в зоне трансарктического дрейфа распреснение уступило место осолонению [6]. Ледовитость арктических морей (АМ), которая увеличивалась начиная с 1960-х гг., в конце прошлого столетия начала стремительно уменьшаться [5].

В период 1989–1993 гг. произошло увеличение температуры атлантических вод (АВ) в Арктическом бассейне (АБ). В Евразийском суббассейне оно продолжалось до конца прошлого столетия, а в Американо-Северном суббассейне потепление 1990-х гг. отмечалось и в начале XXI в. Вторжение АВ было столь продолжительным и повышение их температуры столь значительным, что на фоне всех исторических данных это выглядело большой положительной аномалией. В конце 1990-х гг. наметилась определенная стабилизация поступления АВ в АБ, и в начале XXI в. казалось, что природная среда Арктики исчерпала свой аномальный импульс и климатическая система Арктики вот-вот начнет возвращаться к прежнему состоянию.

Однако начиная с 2003–2004 гг. температура АВ в Евразийском суббассейне начала повышаться до величин, ранее никогда здесь не наблюдавшихся. Экстремальное потепление глубинных АВ выглядело как новый шаг к потеплению Арктики [8]. Последовавшее за этим лето 2007 г. показало, что пределы возможности макромасштабных изменений, как атмосферной, так ледовой и океанической сфер в Арктике, еще не исчерпаны. Сезонный цикл 2007 г. развивался по сценарию, который не наблюдался за всю историю инструментальных наблюдений. Изменения распределения ледяного покрова, термохалинной структуры поверхностного слоя океана и теплового состояния АВ в Северном Ледовитом океане (СЛО) были столь велики, что их следует отнести к разряду больших аномалий, а состояние СЛО летом 2007 г. можно назвать экстремальным. Понятным был тот огромный интерес, с которым планировались и выполнялись полевые исследования в 2008 г. Тем более что этот год был заключительной полевой фазой Международного полярного года (МППГ) 2007/08.

В данной статье уделено внимание двум главным океанологическим структурам, изменения которых были особенно впечатляющими в 2008 г.: поверхностный слой и слой вод атлантического происхождения. Состояния промежуточных слоев, а также донных вод будут предметом дальнейшего специального анализа.

### ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ

Благодаря концентрации национальных и международных усилий в период МППГ было выполнено большое количество экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах, дрейфующих льдах, с помощью авиационной техники и ледовых дрейфующих буев.

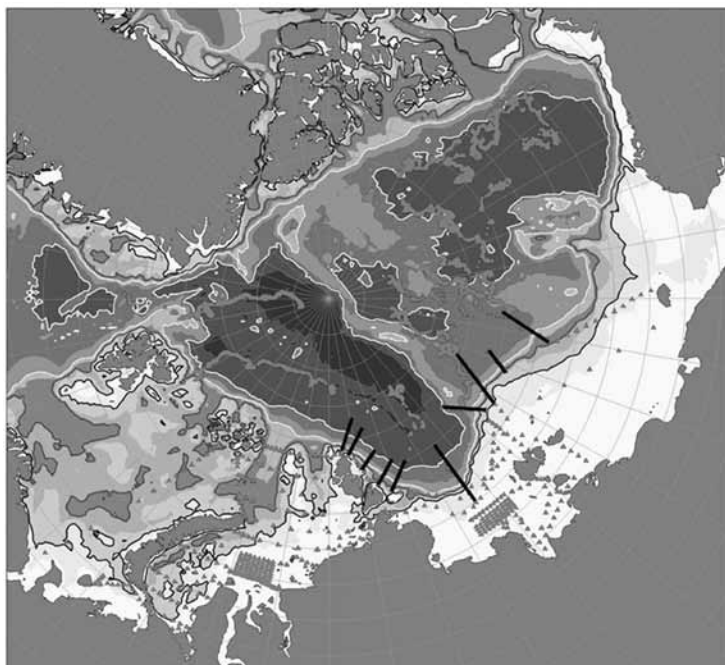


Рис. 1. Схема дрейфа автономных измерительных комплексов ИТР, дрейфующих станций «Северный полюс» и других экспедиций, организованных ААНИИ в 2008 г.

Черными прямыми линиями показано расположение океанографических разрезов поперек материкового склона, полученное по данным экспедиции «Арктика-2008» и АВЛАП/NAVOS-2008

Данные океанографических наблюдений отечественных и зарубежных экспедиций позволили получить обобщенные сведения о состоянии СЛО в 2008 г. и выполнить оценки изменчивости термохалинной структуры для различных типов водных масс.

ААНИИ в 2008 г. производил комплексные исследования СЛО на судах «Академик Федоров», «Иван Петров», «Капитан Драницын»; с помощью вертолетов на дрейфующих льдах; на дрейфующей станции «Северный полюс-36» (СП-36), а также путем постановки автономных дрейфующих буев и закоренных океанографических станций (рис. 1). Кроме российских организаций, таких, как Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова Российской Академии наук (ИФА РАН), Санкт-Петербургский государственный университет, Институт океанологии им. П.П.Ширшова Российской Академии наук (ИО РАН) и др., в полевых исследованиях принимали участие зарубежные организации: Международный арктический научный центр (IARC, США) Институт морских и полярных исследований им. Альфреда Вегенера (AWI, Германия), Институт морских наук (IFM-GEOMAR, Германия) и др.

Программы всех экспедиционных исследований были выполнены в полном объеме. В летний и осенний периоды было выполнено всего около 490 СТД-станций и измерено 85 ХВТ-профилей; ИТР-буи за период с января по декабрь произвели измерения более 4000 СТД профилей. В результате был получен большой объем океанографических данных, который пополнил национальную базу океанографических данных и составил основу для получения оценок состояния СЛО в 2008 г.

#### **ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛИВШИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОХАЛИННОГО СОСТОЯНИЯ**

Формирование полей температуры и солёности воды, структуры циркуляции в СЛО происходит в результате воздействия внешних факторов и внутренних процессов. Основными внешними факторами, которые обуславливают особенности термохалинных и динамических процессов в АМ и АБ СЛО, являются:

- а) термическое и динамическое воздействие атмосферы и потоки солнечной радиации;
- б) поступление в АБ теплых и соленых АВ через пролив Фрама;
- в) поступление тихоокеанских вод в Чукотское море через Берингов пролив;
- г) материковый сток пресных вод в арктические моря;
- д) расходы льда и воды через пролив Фрама и проливы Канадского архипелага.

Основными внутренними силами, которые определяли главный механизм формирования структуры термохалинных полей и течений, были фазовые переходы, турбулентные, диффузионные и конвективные процессы и адвективные переносы. Приведем краткое описание основных особенностей действия внешних факторов в 2008 г.

Термическое и динамическое воздействие атмосферы и потоки солнечной радиации, как и летом 2007 г., сыграли ключевую роль в изменении океанографических характеристик и формировании особенностей состояния поверхностного слоя АМ и АБ. Особенности метеорологических и ледовых процессов в весенний, летний и осенний сезоны состояли в следующем [4]. В атлантико-евразийском секторе в среднем за период апрель–июнь фон давления был выше нормы, крупномасштабная перестройка атмосферных процессов произошла от западной формы в июле и августе к восточной в сентябре. Фон температуры в целом за период апрель–сентябрь был выше нормы, наиболее теплыми оказались апрель и сентябрь, а холодными – июнь и июль. В тихоокеано-американском секторе в апреле–июне отмечалась тенденция к ослаблению влияния арктического антициклона и усилению циклонической деятельности, антициклональный режим циркуляции в восточном секторе Арктики преобладал в августе и сентябре. В апреле–июне фон температуры был выше нормы, за исключением побережья Восточно-Сибирского моря, где температуры близки к средним многолетним значениям. В июле–сентябре фон температуры был в целом выше нормы, причем наиболее теплым оказался сентябрь, холодным – июль.

Ледовые условия в весенний период 2008 г. характеризовались пониженными толщинами льда в морях российского сектора Арктики и более интенсивным выно-

сом льдов из СЛО через пролив Фрама. В распределении возрастного состава, отражающего распределение толщин льда, преобладали однолетние льды и отсутствовали старые льды в российском, аляскинском секторах и центральном районе Арктики.

Благодаря положительным аномалиям температуры воздуха, ветрам южных направлений, преобладанию однолетних льдов и пониженным толщинам льда, в летний период 2008 г. началось интенсивное уменьшение льда в окраинных западных (Баренцево и Карское) и восточных морях (Бофорта и Чукотское), а затем и в Амеразийском суббассейне. В конце летнего периода общее количество льдов в СЛО было значительно меньше среднемноголетнего значения. По историческим данным, минимальная площадь льдов в 2008 г. занимает второе место после 2007 г., который относится к разряду лет с экстремально малой ледовитостью СЛО в конце летнего сезона.

Перечисленные факторы в значительной мере стали причиной интенсивного таяния льдов и отступления на север их кромки, значительного распреснения и радиационного прогрева поверхностного слоя океана. К концу летнего сезона в Амеразийском суббассейне, в восточной части Восточно-Сибирского моря и на большей части Карского моря сформировались положительные аномалии температуры воды и отрицательные аномалии солёности (распреснение) поверхностного слоя.

### ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА В 2008 г.

Для анализа вертикальной термохалинной структуры АБ были выбраны профили температуры и солёности по данным наблюдений на СП-35 и дрейфующих океанографических буев ИТР. Вокруг траекторий дрейфа СП-35 и буев ИТР были выделе-

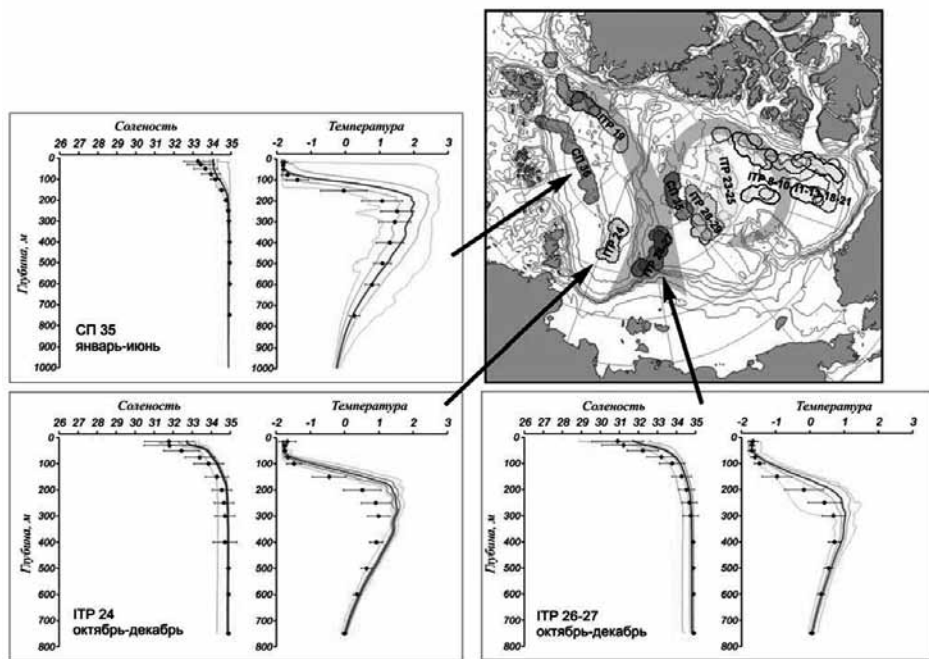


Рис. 2. Вертикальное распределение солёности и температуры по результатам измерений на дрейфующей станции СП-35 (январь–июнь), ИТР-24 (октябрь–декабрь), ИТР-26, 27 (октябрь–декабрь) Жирная линия соответствует профилю средних значений, толстые линии ограничивают область стандартного отклонения, тонкие линии соответствуют минимальным и максимальным значениям наблюдаемых характеристик в 2008 г. Черными точками показаны средние климатические значения и стандартные отклонения соответствующих характеристик по историческим данным «Базы океанографических данных СЛО» отдела океанологии ААНИИ

ны 100-километровые зоны, в которых производился поиск исторических аналогов вертикальной термохалинной структуры, как это показано на рис. 2 и 3.

Распределение солёности поверхностного слоя в Евразийском суббассейне в 2008 г. имело следующие особенности. Максимальные значения солёности верхнего перемешанного слоя (около 34,1 ‰) наблюдались в районе хребта Гаккеля (рис. 2), отображая хорошо известный факт осолоняющего влияния теплых соленых североатлантических вод, распространяющихся через пролив Фрама и далее вдоль границы материкового склона в восточном направлении. Измерения, выполненные к северо-востоку от Гренландии и в восточной части бассейнов Нансена и Амундсена, показали меньшие значения солёности поверхностного слоя – 33,2–33,8 ‰ и 32,7 ‰ соответственно. Одновременно с этим на всей акватории Евразийского суббассейна наблюдались положительные аномалии солёности в поверхностном слое, величина которых достигала 1 ‰ по отношению к климатическим значениям (рис. 2). Следует отметить сложности, связанные с точным определением положения границы и характеристик верхнего перемешанного слоя (ВПС) по данным измерений ИТР-буев. С одной стороны, это связано с ограничением верхней границы производимых измерений (измерения начинаются с глубины более 7 м), а с другой – с широкой изменчивостью указанных характеристик за длительный временной период наблюдений и при значительном пространственном изменении положения буев за наблюдаемый период.

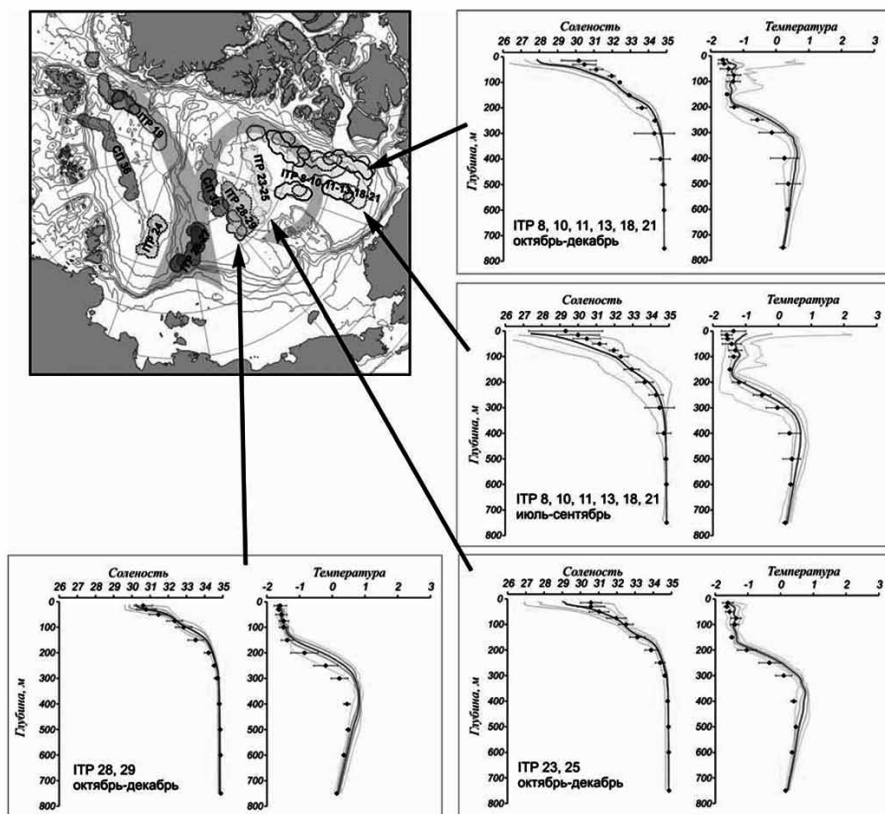


Рис. 3. Вертикальное распределение солёности и температуры по результатам измерений на ИТР-8,10, 11,13,18, 23, 25, 28, 29 в октябре–декабре и ИТР-8,10, 11,13,18 в июле–сентябре 2008 г. Обозначения указаны на рис. 2



Воды атлантического происхождения в Евразийском бассейне также демонстрировали значительную положительную аномалию температуры относительно климатических значений. Так, в ядре АВ, расположенном на глубинах от 210 м в западной части суббассейна до 280–300 м в восточной и северной части, наблюдались аномалии, достигающие +0,5...+0,6 °С. В большинстве случаев такие аномалии превышают средний климатический уровень на величину, превышающую одно стандартное отклонение, которое в ядре АВ в этом районе составляет 0,3–0,5 °С.

В части Евразийского суббассейна, непосредственно прилегающей к проливу Фрама (по данным ИТР-19 и СП-35, рис. 3), отмечен значительный разброс кривых минимальной и максимальной температуры воды, как в верхнем перемешанном, так и в глубоководном слое. Данное обстоятельство обусловлено расположением траектории дрейфа в области фронтальных разделов с большими значениями горизонтальных градиентов гидрологических характеристик.

В целом положительные аномалии температуры слоя АВ наблюдаются на глубинах, превышающих 80–100 м, и прослеживаются до глубины 600–700 м. При этом отчетливо прослеживается тенденция к более мелководному положению слоя АВ, верхняя граница которых традиционно определяется глубиной расположения изотермы 0 °С. По результатам многочисленных измерений в разных частях суббассейна величина смещения верхней границы АВ вверх составила 40–50 м. В различных частях суббассейна положительные аномалии температуры в ядре АВ сопровождалась положительными аномалиями солёности по отношению к климатическим значениям. Как правило, эти аномалии наблюдались только в верхней и центральной частях ядра и отсутствовали глубже горизонтов 250–400 м. В табл. 1 приводятся основные характеристики верхнего перемешанного слоя и слоя АВ Евразийского суббассейна, полученные в результате анализа вертикальной термохалинной структуры.

Распределение солёности поверхностного слоя в Канадском суббассейне в 2008 г. характеризовалось постепенным уменьшением величины положительной аномалии и переходом к отрицательным значениям при продвижении с запада на восток. Если в районе дрейфа ИТР-26 и СП-36 средние значения аномалии солёности верхнего 15–20-метрового слоя наблюдались на уровне +0,8 ‰ (значения солёности 31,7 ‰) и +1,3 ‰ (значения солёности 31,2 ‰) соответственно, то на профилях солёности буя ИТР-28 значения аномалии солёности уже составляли –0,4 ‰ (значения солёности 30,6 ‰). Далее к востоку аномалии продолжили увеличение по абсолютной величине и достигали значений –2,3 ‰ (рис. 3). Одним из наиболее вероятных факторов, определивших развитие столь значительных крупномасштабных изменений в распределении поверхностной солёности, по всей видимости, следует считать существенные изменения в характеристиках ледяного покрова. Распределение значительных по площади акваторий вполне закономерно в условиях наблюдавшегося в течение нескольких лет последовательного уменьшения толщины и протяженности ледяного покрова в этой части АБ.

Таблица 1

**Основные характеристики термохалинной структуры Евразийского бассейна в районе дрейфа буев ИТР-24, ИТР-19 и станции СП-35**

Верхний перемешанный слой		Атлантические воды	
толщина	20–60 м	верхняя граница (положение изотермы 0 °С)	90–150 м
температура	–1,8...–1,7 °С	нижняя граница (положение изотермы 0 °С)	750–880 м
солёность	32,7–34,1 ‰	максимальная температура	+1,0...+2,4 °С
		положение ядра	210–305 м

Слой АВ в Канадском суббассейне, так же как и в Европейском, демонстрирует устойчивые положительные аномалии температуры воды, наблюдаемые до горизонтов 500–700 м. Значения максимальных температур уменьшались с запада на восток от 1,0 °С до 0,65 °С, а аномалии температуры в ядре слабо менялись в пространстве и варьировали +0,2 до +0,3 °С. При этом при продвижении струи АВ от хребта Ломоносова к Канадской котловине происходило постепенное заглубление ядра от 290 м (ИТР-26) до 370–380 м (группы буев ИТР-23 и ИТР-8). Точно такие же тенденции наблюдались в положении верхней границы АВ, которая опустилась с горизонта 160 м в восточной части суббассейна до 265 м – в Канадской котловине. По историческим данным, положение верхней границы АВ на соответствующем отрезке пути их распространения в Канадском суббассейне варьирует от 215 до 330 м. Таким образом, наблюдается ярко выраженный подъем верхней границы на 40–60 м (рис. 3).

Летние тихоокеанские воды (ЛТВ) подстилают поверхностные воды и образуют в основном в Американо-Канадском суббассейне слой между горизонтами 40–100 м с температурой выше –1,4 °С и соленостью 31–33 ‰. Вертикальная структура ЛТВ в зимне-весенний период в Канадской котловине во многих местах была многопиковой. Чаще всего наблюдалось два пика температуры. Первый максимум располагался на горизонтах 50–75 м, максимальная температура была в пределах от –0,25 до –1,14 °С, а соленость была 30,90–31,41 ‰. Второй максимум располагался на горизонтах 90–140 м, максимальная температура была в пределах от –1,24 до –1,40 °С, а соленость была 32,60–32,80 ‰. В осенне-зимний период в этом районе чаще всего наблюдался один пик, который располагался на горизонтах 50–75 м, максимальная температура была в пределах от –0,93 до –1,14 °С и соленость 29,50–31,50 ‰. Но в некоторых местах наблюдался и пик на горизонте 80–100 м с максимальной температурой около –0,85 °С и соленостью 31,50 ‰.

В отличие от 2007 г., площадь распространения ЛТВ в 2008 г. была значительно больше и относится к максимальной из имеющегося ряда наблюдений. Граница распространения ЛТВ проходила вдоль хребта Ломоносова, а вдоль Канадского материкового склона она доходила до меридиана 66° з.д. вблизи Гренландии. ЛТВ с максимальной температурой –1,38 °С и соленостью 32,75 ‰ на горизонте 90 м наблюдались в марте 2008 г. к северу от Гренландии в точке 66° з.д., 83° с.ш. В целом температура ЛТВ в 2008 г. была несколько выше, а соленость несколько меньше средней климатической. Вместе с тем в южной части Канадской котловины температура ЛТВ была ниже, чем в 2007 г.

#### **ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ**

Основной объем океанографических наблюдений был выполнен в летний и летне-осенний периоды (июль–октябрь). Именно для этого периода выполнены оценки пространственного распределения термохалинных характеристик СЛО.

Прежде чем приступить к описанию особенностей термохалинного состояния основных океанологических структур СЛО летом 2008 г., приведем климатические характеристики поверхностного слоя и слоя АВ как реперных значений, относительно которых будут устанавливаться тенденции изменений состояния СЛО. На рис. 4 приведены карты средних климатических значений температуры и солености воды, вычисленных для ряда 1950–1989 гг. [7].

Распределение температуры поверхностного слоя носит отчетливый зональный характер с очагами высоких значений температуры в устьевых зонах рек, а также в районе поступления тихоокеанских и атлантических вод. Изолиния –0,5 °С температуры поверхностного слоя в летний период довольно близко совпадает с положением среднесезонной границы распространения ледяного покрова.

Соленость воды поверхностного слоя на большей части АВ и прилегающих к нему морей изменяется в меридиональном направлении, увеличиваясь от 10–15 ‰ в райо-

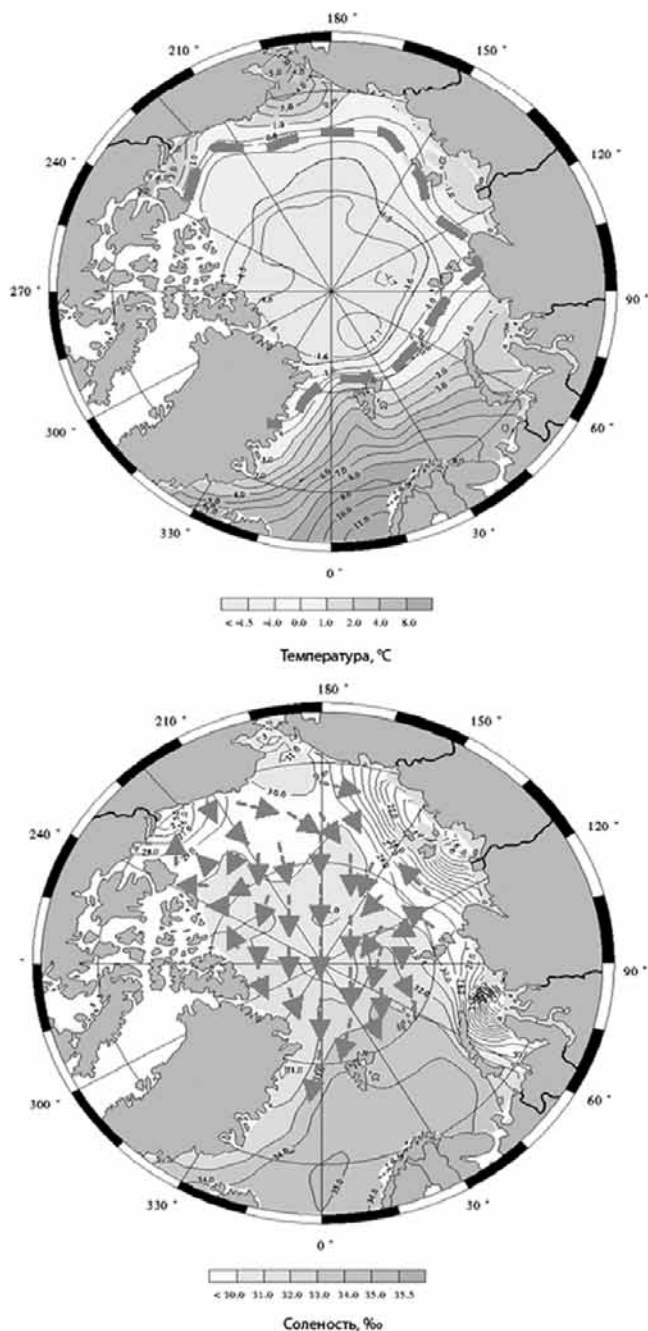


Рис. 4. Средняя температура (вверху, °С) и соленость (внизу, ‰) воды за период с 1950 по 1989 г. на горизонте 5 м для лета [7]

На карте температуры воды (слева) пунктирной линией нанесена среднемноголетняя кромка льда, которая близко совпадает с положением изотермы  $-0,5$  °С. На карте солености воды стрелками показана схема циркуляции льдов в летний период для теплых лет (адаптирована из монографии [4])



нах устьев рек до 31–33 ‰ в районе Северного полюса. Но в приатлантической части АБ меридианальность нарушается и изменение поверхностной солености имеет широтный характер. Вдоль материкового склона Евразии располагается область поверхностных вод с высокой соленостью от 34,5 ‰ в восточной части пролива Фрама до 32 ‰ в центре северной части моря Лаптевых. Южная часть этой области располагается в центральной и северной частях Баренцева и северной части Карского морей. Это так называемый «поверхностный след» циркулируемых на глубине вдоль материкового склона в восточном направлении соленых АВ. Подобный же поверхностный след, но уже тихоокеанских вод наблюдается в Чукотском море, где соленость зимой меняется от 32,5–33,5 ‰ в Беринговом проливе до 29–30 ‰ на северной, восточной и западной границах моря. В целом поверхностный слой Американо-Сибирского суббассейна является более распресненным, чем поверхностный слой Евразийского суббассейна. В АМ зоны большого распреснения формируются благодаря стоку рек и летнему таянию льдов.

Термические процессы, протекавшие в АБ и АМ в 2008 г., сформировали во многих районах аномально теплое состояние поверхностного слоя океана в летний период. Положительные аномалии температуры поверхностного слоя воды наблюдались не только на свободной ото льда части Арктического бассейна, области положительных аномалий также сформировались и на покрытой льдом акватории АБ. Как видно из карты распределения температуры воды на горизонте 10 м на рис. 5, построенной по всем имеющимся данным океанографических наблюдений в августе–сентябре 2008 г., изотерма  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  расположена севернее по сравнению со средним климатическим положением.

Положительные аномалии температуры воды наблюдались на значительной части Американо-Сибирского суббассейна, при этом в море Бофорта, в южной части котловины Подводников и западной части Восточно-Сибирского моря положительные аномалии достигали  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В Евразийском суббассейне поверхностная температура воды была в пределах нормы, но в районе пролива Фрама отмечалась отрицательная аномалия, а в северо-западной части Карского моря – положительная аномалия температуры воды. В Карском море в поверхностном слое наблюдалась более высокая температура воды, причем в юго-западной части моря положительная аномалия достигала  $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Сравнивая распределение поверхностной температуры воды летом 2008 г. с распределением поверхностной температуры воды летом 2007 г. [3], отмечаем следующее. На большей части акватории АБ температура воды летом 2008 г. была ниже, чем летом 2007 г. Причем в восточной части моря Лаптевых и к северу от Новосибирских островов и Восточно-Сибирского моря температура воды была ниже на  $2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В то же время в северной части Карского моря поверхностная температура воды летом 2008 г. была выше таковой летом 2007 г. Таким образом, распределение поверхностной температуры воды летом 2008 г. на большей части АБ и в морях Восточно-Сибирское, Лаптевых и Карское было аномальным. Структура поля аномалий температуры была подобна лету 2007 г., но величины аномалий летом 2008 г. были значительно меньше, за исключением северной части Карского моря.

Распределение солености поверхностного слоя летом 2008 г. имело следующие особенности. На большей части акватории Американо-Сибирского суббассейна наблюдалось распреснение поверхностного слоя, при этом в отдельных районах отрицательные аномалии (распреснение) достигали  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 5). В Евразийском суббассейне от пролива Фрама вдоль материкового склона до моря Лаптевых отмечалось осолонение поверхностного слоя. При этом в северной части моря Лаптевых положительные аномалии солености достигали  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, в целом поверхностный слой Американо-Сибирского суббассейна был аномально распресненным, а Евразийского суббассейна – аномально соленым. Контраст солености между двумя суббассейнами достигал  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Нулевая изолиния аномалии солености проходила от Новосибирских островов на север вдоль хребта Ломоносова.

Сравнительный анализ с распределением поверхностной солености воды, наблюдавшимся летом 2007 г., позволяет сделать следующие выводы. Структу-

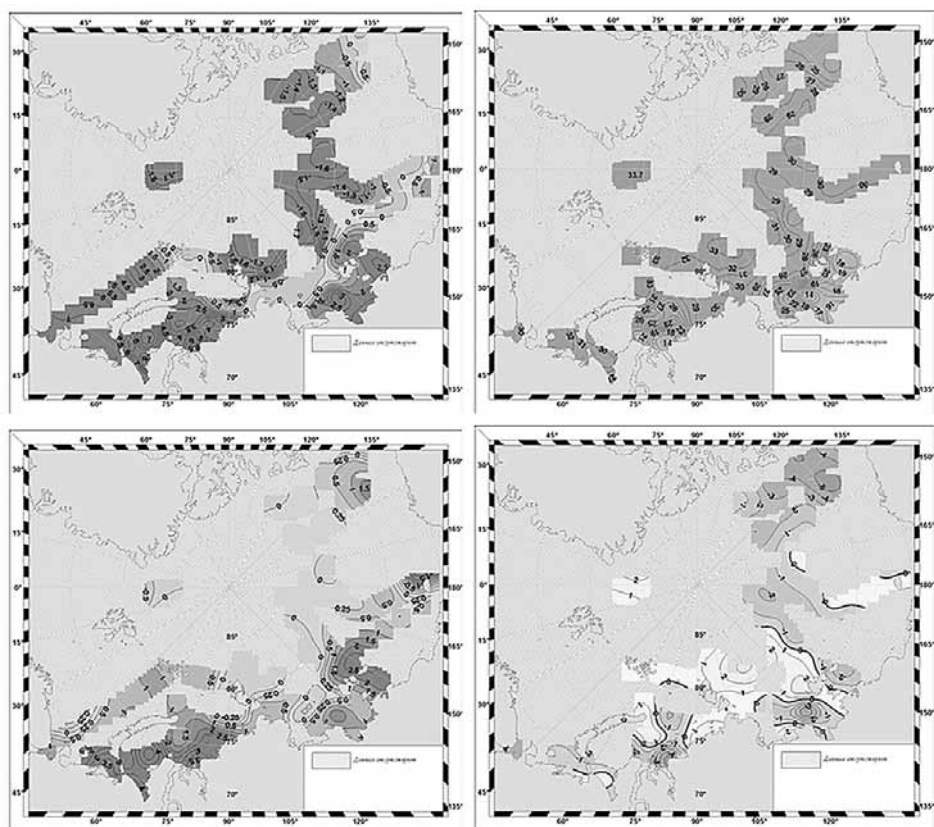


Рис. 5. Пространственное распределение температуры (слева) и солёности (справа) на глубине 5–10 м по данным измерений в августе–сентябре 2008 г.

На нижней паре карт приведены их аномалии по отношению к климатическим значениям

ра поля аномалий солёности летом 2008 г. подобна структуре аномалий летом 2007 г., но величины аномалий меньше. Солёность поверхностного слоя в Американо-азиатском суббассейне в 2008 г. была больше солёности поверхностного слоя летом 2007 г. на 1–2 ‰ (рис. 5). В Карском море увеличение солёности по сравнению с 2007 г. достигало 4 ‰.

#### ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД

АВ поступают в АБ через пролив Фрама и заполняют весь бассейн в виде непрерывного слоя на глубинах от 100–200 м до 600–900 м. Считается, что циркуляция АВ в АБ носит преимущественно циклонический характер (рис. 6). Основная струя АВ распространяется от пролива Фрама вдоль материкового склона до моря Лаптевых. При этом по мере адвекции и трансформации АВ температура воды в ядре атлантических вод изменяется от 3–4 °С в проливе Фрама до 1,5 °С в море Лаптевых. В море Лаптевых поток АВ расщепляется на две ветви. Одна поворачивает на север, и АВ распространяются вдоль хребта Ломоносова. Вторая ветвь пересекает хребет Ломоносова и продолжает перемещаться на восток вдоль материкового склона к Канадской котловине, где максимальная температура АВ понижается до 0,4 °С. Трансформированные АВ циркулируют вдоль материкового склона островов Канадского архипелага и Гренландии и возвращаются в Грен-

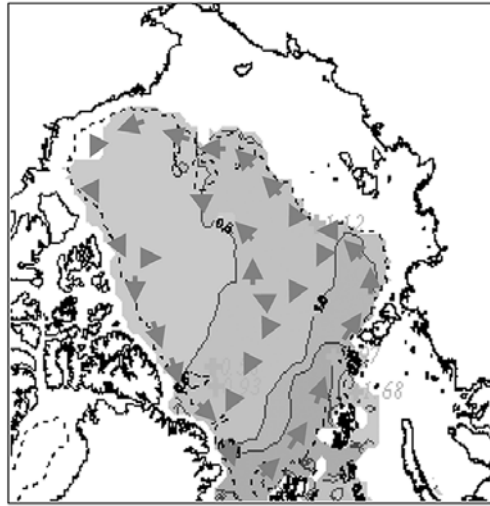


Рис. 6. Средняя за 1960–1969 гг. температура ядра АВ  
Стрелками показана схема климатической циркуляции АВ

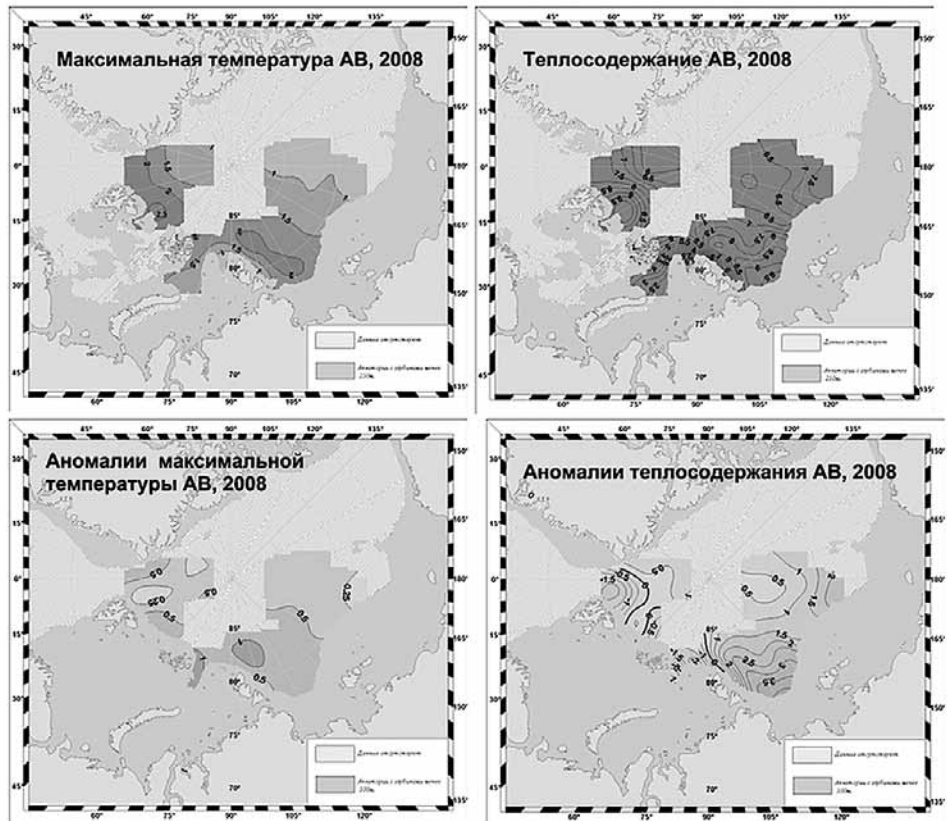


Рис. 7. Пространственное распределение максимальной температуры (слева, верхний ряд) и теплосодержания (справа, верхний ряд) АВ и их аномалий (нижний ряд) летом 2008 г.

ландское море через пролив Фрама. Заметим, что детали циркуляции АВ, так же как и их межгодовая изменчивость, до сих пор являются предметом дискуссии.

В 2008 г. максимальная температура АВ всюду была выше средней климатической (рис. 7). Состояние области залива и распространения основной струи атлантических вод вдоль материкового склона от пролива Фрама до моря Лаптевых значительно изменилось по сравнению с 2007 г. Средняя и максимальная температуры АВ понизились на 0,25–0,50 °С, и уменьшилось общее теплосодержание. В то же время в котловине Амундсена в 2008 г. наблюдалось небольшое увеличение температуры атлантических вод по сравнению с 2007 г.

Вместе с тем, в основной струе вдоль материкового склона от пролива Фрама до моря Лаптевых наблюдались отрицательные аномалии общего теплосодержания АВ (рис. 7). Это явилось следствием того, что толщина слоя АВ в этом районе была меньше средней климатической.

Отметим изменения в топографии верхней и нижней границ АВ летом 2008 г. по сравнению с 2007 г. На большей части акватории АВ как в 2007 г., так и в 2008 г. верхняя граница АВ была выше средней климатической на 40–100 м (рис. 8). Но в 2008 г. в области к северу от Шпицбергена произошло заглубление верхней границы, которая опустилась на 10–50 м глубже среднего климатического положения. В этой же части АВ произошло поднятие нижней границы АВ по сравнению с 2007 г., причем вели-

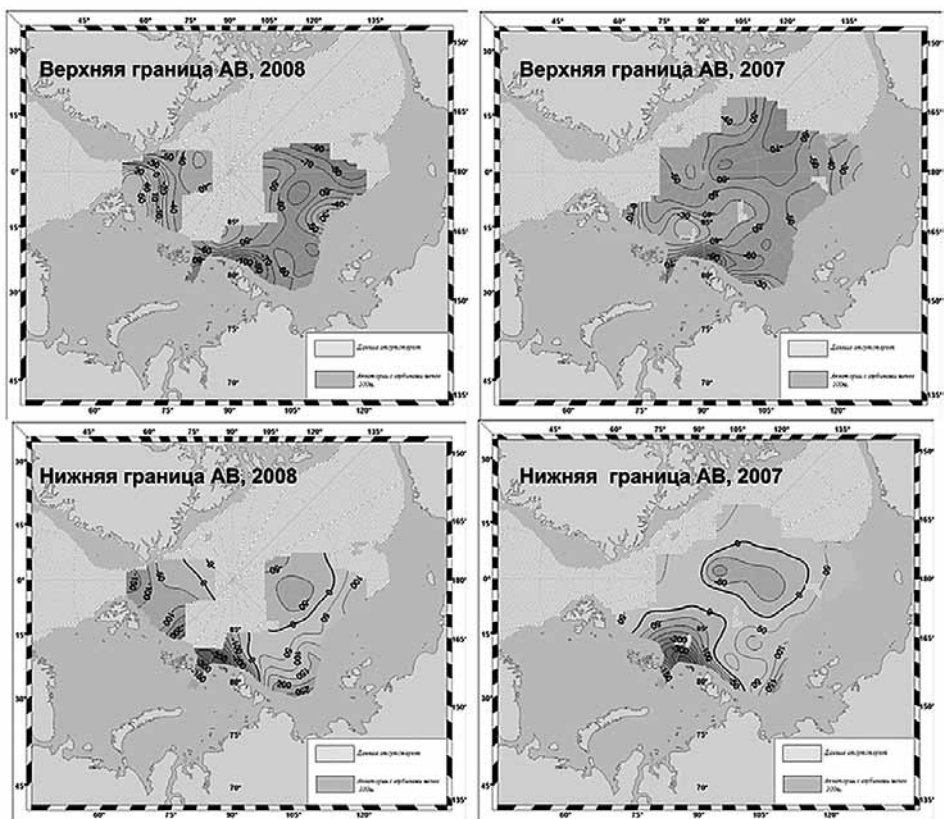


Рис. 8. Пространственное распределение аномалий глубины залегания верхней (верхний ряд) и нижней (нижний ряд) поверхностей слоя АВ в 2008 г. (верхний ряд) и в 2007 г. (нижний ряд) Положительные значения аномалии характеризуют заглубление поверхности, а отрицательные – обмеление



чина поднятия нижней границы составила около 100 м. В северной части моря Лаптевых, напротив, в 2008 г. произошло еще большее опускание нижней границы АВ.

В целом в АВ продолжалось расширение ареала более теплых АВ. Можно предположить, что в восточной части моря Лаптевых изменилось распределение АВ по отдельным ветвям течения. Вдоль склоновая ветвь течения, распространяющаяся вдоль материкового склона и пересекающая хребет Ломоносова, в 2008 г. стала менее интенсивной. Одновременно с этим наблюдалось продолжение потепления атлантических и донных вод в Евразийском суббассейне. При этом изменения термохалинной структуры как атлантических, так и донных вод демонстрируют плавную однонаправленную тенденцию в течение последних 4–5 лет [3]. Мощный заток теплых АВ в АВ в 2003–2004 гг. и продолжающееся поступление аномально теплых и соленых АВ вызвали изменения термохалинной структуры выше и ниже лежащих слоев. Остается, однако, открытым вопрос, каким путем и в какой мере экстремальное вторжение АВ может повлиять на ледяной покров и атмосферные процессы в Арктике.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Летом 2008 г. термохалинная структура поверхностного слоя АВ и АМ была подобна летней термохалинной структуре поверхностного слоя в 2007 г., отличающаяся величинами аномалий температуры и солёности. Положительные аномалии поверхностной температуры воды наблюдались на значительной части Американо-Сибирского суббассейна. При этом в море Бофорта, в южной части котловины Подводников и западной части Восточно-Сибирского моря положительные аномалии достигали 2 °С. В Евразийском суббассейне поверхностная температура воды была в пределах нормы, но в районе пролива Фрама отмечалась отрицательная аномалия. В Карском море в поверхностном слое наблюдалась более высокая температура воды, причем в юго-западной части моря положительная аномалия достигала +6 °С.

Распределение поверхностного слоя летом 2008 г. отмечалось на большей части акватории Американо-Сибирского суббассейна, при этом в отдельных районах отрицательные аномалии (распределение) достигали –2 ‰. В Евразийском суббассейне от пролива Фрама вдоль материкового склона до моря Лаптевых фиксировалось осолонение поверхностного слоя, и в северной части моря Лаптевых положительные аномалии солёности достигали +2 ‰. В целом поверхностный слой Американо-Сибирского суббассейна был аномально распресненным, а поверхностный слой Евразийского суббассейна был аномально соленым. Контраст солёности между двумя суббассейнами достигал 4 ‰. Нулевая изолиния аномалии солёности проходила от Новосибирских островов на север вдоль хребта Ломоносова. Таким образом, распределение поверхностной солёности летом 2008 г. на большей части акватории АВ и АМ относится к аномальному.

Как средняя в слое температура АВ, так и их максимальная температура в 2008 г. всюду была выше средней климатической. В то же время по сравнению с 2007 г. средняя и максимальная температуры АВ понизились на 0,25–0,50 °С, общее теплосодержание и толщина АВ уменьшились, но в котловине Амундсена в 2008 г. наблюдалось небольшое увеличение температуры АВ по сравнению с 2007 г.

Феномен лета 2007 г., следовавшее затем аномальное лето 2008 г., как и предшествующие этому океанологические процессы во всей толще океана (экстремальное потепление АВ, сокращение площади распространения летних тихоокеанских вод и значительное повышение их температуры, расширение ареала зимних тихоокеанских вод до границ максимального распространения, повышение температуры и увеличение солёности донных вод Евразийского суббассейна [5]) поставил множество актуальных вопросов, среди них самым важным был и остается следующий: являются ли современные изменения состояния атмосферы и океана в Арктике свойством арктической климатической системы, за которым последует возврат в одно из наблюдавшихся ранее состояний (условно равновесное состояние), или произойдет необратимая перестройка самой структуры климатической системы – термохалин-



ных полей, циркуляции вод во всей толще океана, макроструктуры ледяного покрова и системы его дрейфа, включая возникновение новых, ранее не наблюдавшихся особенностей состояния и циркуляции СЛО.

Учитывая то обстоятельство, что 2008 г. является вторым после 2007 г. по экстремальности ледовых и поверхностных термохалинных условий, а также неоднородность направления изменений состояния СЛО и последствий для циркуляции атмосферы и климата Арктики, следует продолжить практику систематического широкомасштабного мониторинга акватории АБ и окраинных морей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев А.А.* О причинах возникновения природного феномена в Арктике летом 2007 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. Вып. 72. С. 115–127.
2. *Куражов В.К., Иванов В.В., Коржиков А.Я.* Роль атмосферной циркуляции в формировании долгопериодных колебаний климата Арктики // Труды ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 33–43.
3. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. 2007 / Под ред. И.Е.Фролова. СПб.: ААНИИ, 2008. 80 с.
4. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом Океане – I–IV кварталы 2008 года / Научный редактор выпуска: д-р геогр. наук, проф. И.Е.Фролов СПб.: ААНИИ, 2008. <http://www.aari.ru/main.php> [дата обращения: 1 октября 2009 г.]
5. *Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М.* Научные исследования в Арктике. Т. 2. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. СПб.: Наука, 2007. 158 с.
6. *Gudkovich Z.M., Proshutinsky A.Yu., Timokhov L.A., Koltyshev A.E., Garmanov A.L.* Climatic salinity changes of the surface layer of the Arctic Ocean // ACSYS Final Science Conference, St. Petersburg, Russia, 11–14 November, 2003. WCRP-118 (CD), WMO/TD No. 1232, September, 2004. 3 p.
7. Joint U.S.-Russian Atlas of the Arctic Ocean, Oceanography Atlas for the Winter (1997) and Summer Period (1998) / Ed. by F.Tanis, L.Timokhov. Environmental Working Group, University of Colorado, Boulder, CD-ROM.
8. *Polyakov I.V., Beszczynska A., Carmack E.C., Dmitrenko I.A., Fahrbach E., Frolov I.E., Gerdes R., Hansen E., Holfort J., Ivanov V., Jonson M., Karcher M., Kauker F., Morison J., Orvik K., Schauer U., Smmons H., Skagseth O., Sokolov V., Steel M., Timokhov L., Walsh D., Walsh, J.E.* One more step toward a warmer Arctic // Geophys. Res. Lett., 32, L17605, doi: 10.1029/2005GL0237402005. P. 1–4.

*L.A.TIMOKHOV, I.M.ASHIK, A.L.GARMANOV, V.YU.KARPIY, S.A.KIRILLOV, N.V.LEBEDEV, A.E.NOVIKHIN, I.V.POLYAKOV, V.T.SOKOLOV*

#### HYDROGRAPHIC CONDITIONS IN THE ARCTIC BASIN AND ARCTIC SEAS ON THE BASE OF THE 2008 OBSERVATIONAL DATA

*The hydrographic condition assessments based on the expedition investigations for the Arctic basin and Arctic seas are presented for summer 2008. Positive surface temperature anomalies and surface layer freshening were observed on the significant area of the Amerasian sub-basin. In Eurasian sub-basin from the Fram Strait to the Laptev Sea along the continental slope the surface layer salinization was revealed. The surface water temperature was in the mean range for an exception of the Fram Strait region.*

*In the Atlantic layer in 2008 the mean and maximal temperatures everywhere were higher than climate values. At the same time in comparison with the 2007 mean and maximal temperatures of the Atlantic waters were decreased at 0,25–0,5 °C. Total heat content and the Atlantic layer thickness were decreased. In the Amundsen Basin in 2008 the low temperature increase was observed in the Atlantic layer in comparison with the 2007.*

*Keywords:* Arctic Ocean, surface layer, Atlantic waters, heat content, surface temperature and salinity anomalies.