

ВЛИЯНИЕ АРКТИКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ СОЛЕННОСТИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ АТЛАНТИКЕ И СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОМ БАССЕЙНЕ

млад. науч. сотр. А.Е. ВЯЗИЛОВА, д-р. геогр. наук Г.В. АЛЕКСЕЕВ,

млад. науч. сотр. А.А. БАЛАКИН, канд. геогр. наук А.В. СМИРНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: vae@aari.ru, alexgv@aari.ru, balakin@aari.ru, avsmir@aari.ru

В статье рассматривается влияние аномалий содержания пресной воды в Арктическом бассейне на изменения солёности в прилегающей акватории Северной Атлантики. Особое внимание уделено роли летнего таяния в формировании аномалий стока пресной воды из Арктики. Показано, что аномально теплые летние сезоны в Арктике в 1960-е и 2000-е гг. согласуются с появлением в эти периоды отрицательных аномалий солёности в Северной Атлантике. Согласованность в развитии аномалий солёности в 1950–1960 и 2001–2013 гг. может быть предвестником новой «великой солёностной аномалии» в Северной Атлантике с соответствующими последствиями для климата.

Ключевые слова: Арктика, субарктическая Атлантика, приток пресной воды, аномалии солёности.

ВВЕДЕНИЕ

Арктический регион находится под влиянием атмосферных переносов тепла и влаги из низких широт и поступления теплой и солёной воды из прилегающих областей океана. В свою очередь Арктика влияет на глобальный климат через вынос пресной воды и морских льдов в Северную Атлантику (Алексеев и др., 1989; Алексеев и др., 1995; Алексеев, Кораблев, 1994; Сарафанов и др., 2009; Dickson et al., 1996; Griffies, Bryan, 1997; Myers, 2005).

Район субарктической Северной Атлантики является отправной точкой для глобальной термохалинной циркуляции. Здесь процессы взаимодействия между океаном и атмосферой приводят к охлаждению воды, ее погружению в глубь океана в конвективных круговоротах в центральных областях Лабрадорского и Гренландского морей, где она участвует в образовании новой глубинной воды для возвратной ветви атлантического меридионального круговорота.

В табл. 1 представлены составляющие баланса пресной воды в Арктическом бассейне и арктических морях (Арктический океан), рассчитанные по результатам наблюдений (Jahn et al., 2012). Содержание пресной воды, рассчитанное относительно солёности 34,8 ‰, и ее поступление в Арктический бассейн и арктические моря представлены в кубических километрах в год. Положительные значения указывают на источники пресной воды, а отрицательные — на сток пресных вод из Арктического океана (Jahn et al., 2012).

Бюджет пресных вод Арктического бассейна

Потоки пресной воды, км ³ /год	Jahn et al., 2012
Речной сток	3200±110
Общее количество осадков	2000±200
Берингов пролив, вода	2500±300
Берингов пролив, морской лед	100±70
Проливы Канадского Арктического архипелага, вода	-3200±320
Пролив Фрама, вода	-2660±528
Баренцево море, вода	-90±94
Баренцево море, морской лед	-40
Проливы Канадского Арктического архипелага, морской лед	-160
Пролив Фрама, морской лед	-2300±340

Основным источником пресных вод для Арктического региона является речной сток (Serreze et al., 2006), для которого характерно общее увеличение в последние декады (Overeem, Syvitski, 2010; Rabe et al., 2013; White et al., 2007). Помимо речного стока, поступления через Берингов пролив и осадков в объем пресной воды, выносимой в Северную Атлантику, вносит вклад таяние ледников Гренландии (Vamber et al., 2012).

Поток распресненной воды из Арктики выходит через пролив Фрама и далее распространяется Восточно-Гренландским течением и с Западно-Гренландским течением поступает в залив Баффина. Распресненная полярная вода поступает в залив Баффина также через проливы Канадского Арктического архипелага. Оба пути поступления полярной воды находятся в оппозиции — если экспорт льда и пресной воды, проходящий через пролив Фрама, уменьшается, то экспорт распресненной воды через проливы Канадского Арктического архипелага увеличивается (Kwok et al., 2004). В конечном счете приток пресной воды в залив Баффина вдоль берегов Гренландии с Восточно-Гренландским и Западно-Гренландским течениями может существенно понизить объем пресной воды, идущий через проливы Канадского Арктического архипелага (Rudels, 2011).

На объем, распределение пресной воды и морских льдов в Арктическом бассейне и пути их выноса из Арктики влияют несколько факторов. В первую очередь это сокращение морского ледяного покрова, наблюдаемое в настоящее время в Арктике, которое сопровождается перераспределением содержания пресной воды в верхнем слое и морского льда (Kwok, Rothrock, 2009).

Предполагается, что на перераспределение пресной воды влияет поступление атлантической воды (АВ) в Арктический бассейн (Алексеев и др., 2010; Hakkinen, Proshutinsky, 2004). Увеличенный приток теплых и соленых вод вызывает поднятие верхней границы слоя атлантических вод, тем самым уменьшает толщину верхнего слоя распресненной воды над потоком АВ вдоль Евразийского побережья и смещает распресненную воду в сторону Канадской котловины. Перераспределение пресной воды по акватории Арктического бассейна связано также с усилением круговорота Бофорта, сопровождающимся ее аккумулярованием в круговороте (Jahn et al., 2010; Proshutinsky et al., 2009).

Результаты исследований подтверждают увеличение запаса пресной воды в верхних слоях Арктического бассейна за период с 1990-х гг. до 2006–2008 гг. (Rabe

et al., 2011). Считается, что эти процессы являются результатом преобладания циклонической циркуляции в атмосфере над Арктикой в 1990–2000-е гг. (Proshutinsky et al., 2009), которая усиливает перенос пресных вод, поступивших с речным стоком с Евразии, на восток.

Важным фактором, влияющим на климатические изменения в субарктической Атлантике и на их связь с Арктикой, согласно выводам целого ряда исследований (Dickson et al., 2000; Getzlaff et al., 2005; Houghton, Visbeck, 2002; Wu, Gordon, 2002), считается Североатлантическое колебание (САК), количественная мера которого выражается в виде индексов САК (Hurrell et al., 2003) и Арктической осцилляции (АО).

Наблюдения показывают, что в годы с высоким положительным индексом САК годовой объем льда, выносимого через западную часть пролива Фрама, увеличивается (Dickson et al., 2003). Хотя взаимосвязь между указанными величинами для длительного периода наблюдений не вполне доказана, можно отметить, что увеличение значений индекса САК начиная с 1976 г. сопровождалось увеличением годового выноса льда в Гренландское море на 200 км^3 (Dickson et al., 2000). Уменьшение площади ледяного покрова в Северо-Европейском бассейне и увеличение индекса САК развиваются согласованно в течение последних 40 лет (Deser et al., 2000).

В Северной Атлантике наблюдались три периода опреснения поверхностных вод: в 1970-х гг., 1980-х гг. и 1990-х гг. Большие объемы морского льда отмечались в Гренландском море в конце 1960-х гг., которые с Восточно-Гренландским течением в начале 1970-х гг. поступили в Лабрадорское море. Соленостная аномалия (СА) 1980-х гг., по мнению авторов работы (Belkin et al., 1998), сформировалась в Лабрадорском море в результате суровых зим в начале 1980-х гг. и экспорта пресных вод из Арктики через проливы.

В начале 1990-х гг. в районе Лабрадорского моря также наблюдались зимы с очень низкими температурами воздуха и сильными ветрами, значительными объемами морского льда и образованием новых холодных распресненных вод. Наблюдения в проливе Дэвиса дают основания предполагать, что верхний слой воды в 1990-х гг. стал более пресным и менее плотным по сравнению с 1960-ми гг. (Dickson et al., 2003).

Считается, что образование соленостных аномалий в основном является результатом выноса морских льдов и пресной воды через пролив Фрама. Вынос через проливы Канадского Арктического архипелага имеет меньшее значение для образования СА за исключением 1990-х гг. (Naak et al., 2003). По мнению других авторов (Belkin et al., 1998), СА как 1980-х, так и 1990-х сформировались в результате выноса через проливы Канадского Арктического архипелага.

Воздействие распресненных вод Восточно-Гренландского и Западно-Гренландского течений на глубинные бассейны до сих пор недостаточно изучено. Некоторые исследования предполагают, что экспорт пресных вод из Арктики практически не оказывает влияния на глубокую конвекцию в Лабрадорском море (Myers, 2005). Другие исследования подтверждают, что поступающие в Лабрадорское море потоки пресной воды уменьшают формирование глубинных вод (Lazier, 1980). Ослабление конвекции в 1970-х и 1980-х гг. сопровождалось соленостными аномалиями в эти же годы (Curry et al., 1998). За период с 1950-х по 2007 г. самое сильное ослабление Атлантической термохалинной циркуляции произошло через несколько лет после значительного экспорта распресненных вод в течение поздних 1960-х до середины 1970-х гг. (Jahn et al., 2010).

В работе (Dodd et al., 2009) полагают, что влияние экспортируемых пресных вод из Арктики через пролив Фрама на формирование глубинных вод в Северо-Европейском бассейне и Лабрадорском море может зависеть от количества воды в жидкой (вода) или твердой (лед) фазах. Пресные воды в основном остаются в Восточно-Гренландском течении и не распространяются во внутреннюю часть Гренландского моря (Dodd et al., 2009; Gerdes et al., 2005), в то время как большая часть морского льда направляется в Северо-Европейский бассейн (СЕБ).

По мнению (Myers, 2005), экспорт пресных вод через Дэвисов пролив оказывает слабое воздействие на формирование лабрадорской водной массы в отличие от аномалий солёности, поступающих через пролив Фрама, поскольку солёностные аномалии, прошедшие через проливы, выносятся Лабрадорским течением по периферии Лабрадорского моря (Gerdes et al., 2008). Выводы работы (Komuro, Nasumi, 2005) также подтверждают, что солёность экспортируемых вод через пролив Фрама имеет большее влияние на глубинную конвекцию в Северной Атлантике. Когда усиливается вынос распресненных вод через проливы Канадского Арктического архипелага, солёность вод, экспортируемых через пролив Фрама, и вод Восточно-Гренландского течения повышается. Распресненные воды оказывают влияние только на западную часть Лабрадорского моря, а более солёные воды, поступающие с Восточно-Гренландским и Западно-Гренландским течениями, усиливают формирование конвекции в Лабрадорском море и море Ирмингера.

Авторы работы (Våge et al., 2009), напротив, считают, что поток пресных вод и морского льда через пролив Дэвиса привел к устойчивой стратификации и повышенному образованию льда в Лабрадорском море в зимние периоды 2007–2008 гг., что стало причиной охлаждения воздуха над центральным районом Лабрадорского моря и сильной потери тепла, в результате которых наблюдалась конвекция в 2007–2008 гг.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Для исследования использованы данные океанографических наблюдений за период с 1940 по 2013 г., собранные в базе данных (БД) по Северо-Европейскому бассейну (Кораблев и др., 2007). В базу вошли данные о температуре, солёности, и основных гидрохимических параметрах. Применённые процедуры контроля качества позволили исключить сомнительные данные. Для анализа использовались только профили, полученные с помощью батиметрии или СТД.

В ходе исследования база данных была пополнена значительным количеством наблюдений, выполненных в конце прошлого и начале нынешнего столетия, а также океанографическими данными Бедфордского института (Канада, <http://dfo-mpo.gc.ca>), что дало возможность совместного изучения климатических изменений в СЕБ и Северо-Западной Атлантике (СЗА). Пополненная БД содержит более 500000 океанографических станций, расположенных к северу от 47° с.ш.

В работе также были использованы материалы «Климатологического атласа Северо-Европейского бассейна и северной части Северной Атлантики» (Korablev et al., 2014), созданного совместными усилиями ГНЦ РФ ААНИИ, Геофизического института Бергена, Норвегия, и Национальным океанографическим центром данных, США. Средние за десятилетия климатологические распределения аномалий солёности в верхнем слое были рассмотрены для изучения влияния притока пресных вод из Арктики на формирование термахалинных аномалий и конвективных процессов в СЕБ и СЗА.

Для анализа многолетних изменений по данным экспедиционных наблюдений были сформированы временные ряды содержания пресной воды (СПВ) в слое выше залегания изохалины 34,8 ‰ в Арктическом бассейне (9 точек в Канадском бассейне, 8 точек в Евразийском бассейне), рассчитаны летние аномалии СПВ в верхнем слое 100 м в семи точках Северо-Европейского бассейна и Северо-Западной Атлантики (Лабрадорское море и залив Баффина) (рис. 1). Области выбирались исходя из обеспеченности данными. Расчеты выполнялись по данным наблюдений внутри областей радиусом 100 км, осреднялись и относились к центру области. Ряды аномалий содержания пресной воды, построенные по данным в выбранных областях, позволяют рассмотреть временные и пространственные изменения в поступлении арктической пресной воды и ее распространение по акватории Северной Атлантики.

Выбор значения солености, относительно которого рассчитывается содержание пресной воды, может задаваться в достаточно широких пределах. В данном исследовании использовалось значение 34,8 ‰, которое считается приблизительной средней соленостью для Арктического бассейна (Aagaard, Carmack, 1989). Расчет проводился по формуле (1).

$$FWC = \int_h^0 \frac{S_{ref} - S}{S_{ref}} dz, \quad (1)$$

где FWC — содержание пресной воды в м, S — соленость, S_{ref} — референсное значение солености, h — глубина залегания нижней границы слоя, в котором проводилось интегрирование.

Распространение потоков распресненных вод можно также идентифицировать по аномалиям солености на вертикальных разрезах в западной части пролива Фрама (79,5° с.ш.) и северной части залива Баффина (76° с.ш.). Разрезы были построены по усредненным за десятилетия данным Климатологического атласа (Korablev et al., 2014).

ВЛИЯНИЕ ЛЕТНИХ ПОТЕПЛЕНИЙ В АРКТИКЕ НА СОДЕРЖАНИЕ ПРЕСНОЙ ВОДЫ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ

На графиках временного хода летних аномалий температур воздуха (июнь–август) для Арктики и Северной Атлантики выделяется потепление в 1950-х до начала 1960-х гг. (рис. 2), которое наиболее ярко выражено в регионе Северо-Западной Атлантики. Период потепления сменился похолоданием, при котором температуры воздуха в СЕБ достигли минимума в середине 1980-х гг. В Лабрадорском море и заливе Баффина минимальные летние температуры воздуха наблюдались в начале 1970-х гг.

В морской Арктике также наблюдалась повышенная летняя температура воздуха в 1950-е и в начале 1960-х гг., сменившаяся понижением и последующим быстрым ростом

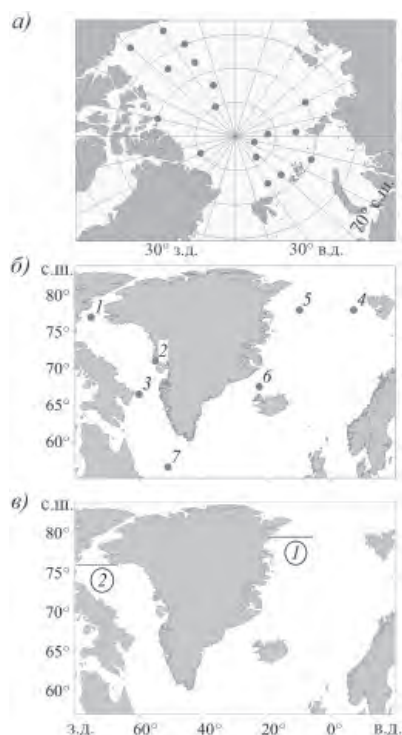


Рис. 1. Расположение областей для расчета содержания пресной воды в Арктике (а) и Северной Атлантике (б) и расположение разрезов (в): 1 — в заливе Баффина, 2 — в проливе Фрама.

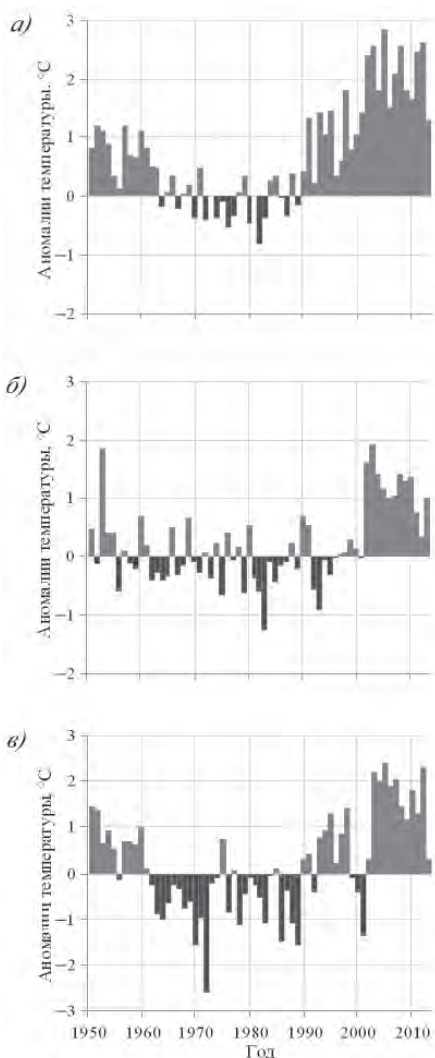


Рис. 2. Летние аномалии температуры воздуха (июнь–август) в морской Арктике (Алексеев и др., 2010) по данным метеостанций (а), в СЕБ, 60–82° с.ш., 40° з.д. – 20° в.д. (б), в СЗА, 56–82° с.ш., 40–80° з.д. (в).

треть временные и пространственные изменения в поступлении арктической пресной воды и ее распространении по акватории Северной Атлантики (рис. 3–6).

По рассчитанным значениям СПВ были сформированы временные ряды аномалий для Евразийского и Канадского бассейнов. По построенным графикам содержания пресных вод в слое выше залегания изохалины 34,8‰ можно отметить согласованные уменьшение СПВ вдоль берегов Евразии и увеличение СПВ у Канадского архипелага начиная с 2002 г., когда увеличилось поступление АВ в Арктический бассейн (рис. 3).

летних температур с начала 1990-х гг. (рис. 2а). Для СЕБ и СЗА характерно повышение летних температур с середины 1990-х гг. по настоящее время, что хорошо заметно на графике аномалий по данным метеостанций (рис. 2б, 2в).

Большие положительные аномалии температуры воздуха в Арктике сопровождались усиленным таянием снега и льда и увеличением стока с окружающих материков (Alekseev et al., 2000; Shiklomanov et al., 2000), что способствовало увеличению поступления пресной воды в арктические моря, Арктический бассейн, Канадские проливы и пролив Фрама.

За летними потеплениями следуют отрицательные аномалии солёности в Северной Атлантике. Наиболее известная из них, названная «великой солёностной аномалией» (BCA) (Dickson et al., 1988), наблюдалась в 1970-х гг. Другие СА были отмечены в 1980-х гг. (Belkin et al., 1998) и в 1990-х гг. (Belkin, 2004). СА, наблюдавшиеся в 1968–1970 и 1980–1982 гг., связывались с увеличением экспорта морского льда через пролив Фрама (Zhang, Vallis, 2006). Выносу морского льда через проливы Канадского Арктического архипелага придается меньшее значение в формировании СА, за исключением СА 1990-х гг. (Naak et al., 2003).

АНОМАЛИИ СОДЕРЖАНИЯ ПРЕСНОЙ ВОДЫ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

Ряды аномалий содержания пресной воды (СПВ) в слое выше залегания изохалины 34,8‰ в Арктическом бассейне и в верхнем слое 100 м в Северо-Европейском бассейне и Северо-Западной Атлантике (Лабрадорское море и залив Баффина) позволяют рассмотреть

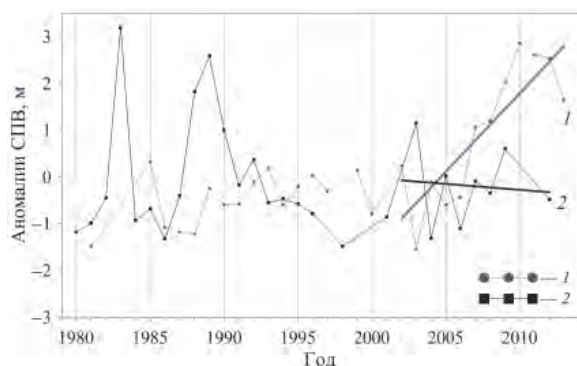


Рис. 3. Аномалии содержания пресной воды в слое выше изохалины 34,8 ‰ в районах Арктического бассейна, прилегающих к Канадскому Арктическому архипелагу (1) и Евразийскому побережью (2). Жирные прямые линии показывают тренд за 2002–2013 гг.

В пространственном распределении СФВ (рис. 4) видно повышенное содержание СФВ в Канадской котловине в 2000–2014 гг., аномалии которого показывают увеличение СФВ на акватории Арктического бассейна, прилегающей к Аляске и Канадскому Арктическому архипелагу.

Таким образом, в последнее десятилетие произошло перераспределение запаса пресных вод, одной из причин которого, по нашему мнению, является увеличение притока воды из Северной Атлантики в Арктический бассейн, приведшее к подъему верхней границы слоя атлантических вод в Евразийском бассейне и к смещению распределенных вод в Канадский бассейн. Другая причина — это преобладание циклонической циркуляции в атмосфере над Арктическим бассейном, которое способствовало оттоку пресных вод, поступивших с Евразийским речным стоком, в круговорот моря Бофорта (Morison et al., 2012; Proshutinsky et al., 2009).

Предполагается, что увеличение содержания пресных вод у Канадского Арктического архипелага способствует наблюдаемому усилению выноса морских льдов и пресной воды через проливы архипелага (Koenigk et al., 2007), а также через пролив Фрама (Spreen et al., 2013).

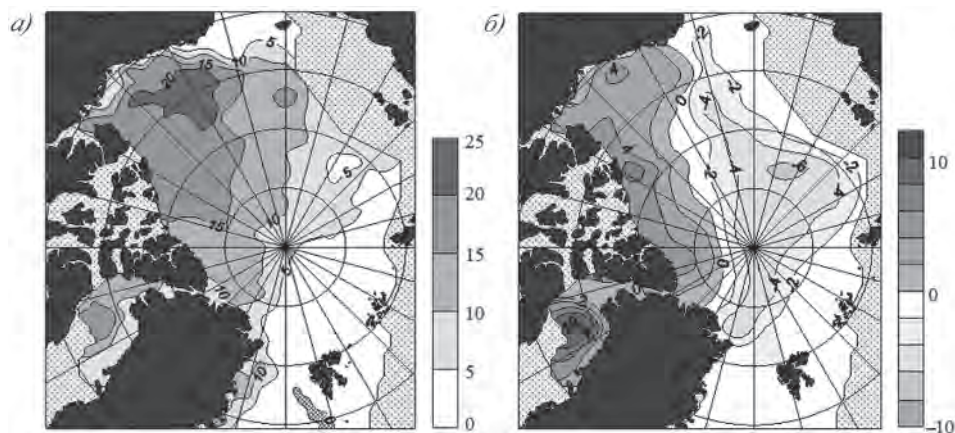


Рис. 4. Распределение СФВ в слое выше изохалины 34,8 ‰ в 2000–2014 гг. (а) и аномалии СФВ в 2000–2014 гг. относительно среднего СФВ за 1970-е гг. (б).

ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРЕСНОЙ ВОДЫ И СОЛЕННОСТИ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

По изменениям содержания пресной воды в верхнем слое 100 м можно проследить пути распространения положительных аномалий СПВ. В 1950–1960-е гг. распресненная вода из проливов Канадского Арктического архипелага распространилась через залив Баффина, далее через Дэвисов пролив в конце 1960-х, и в начале 1970-х гг. положительные аномалии СПВ проявились в Лабрадорском море в районе корабля погоды «Б» (рис. 5).

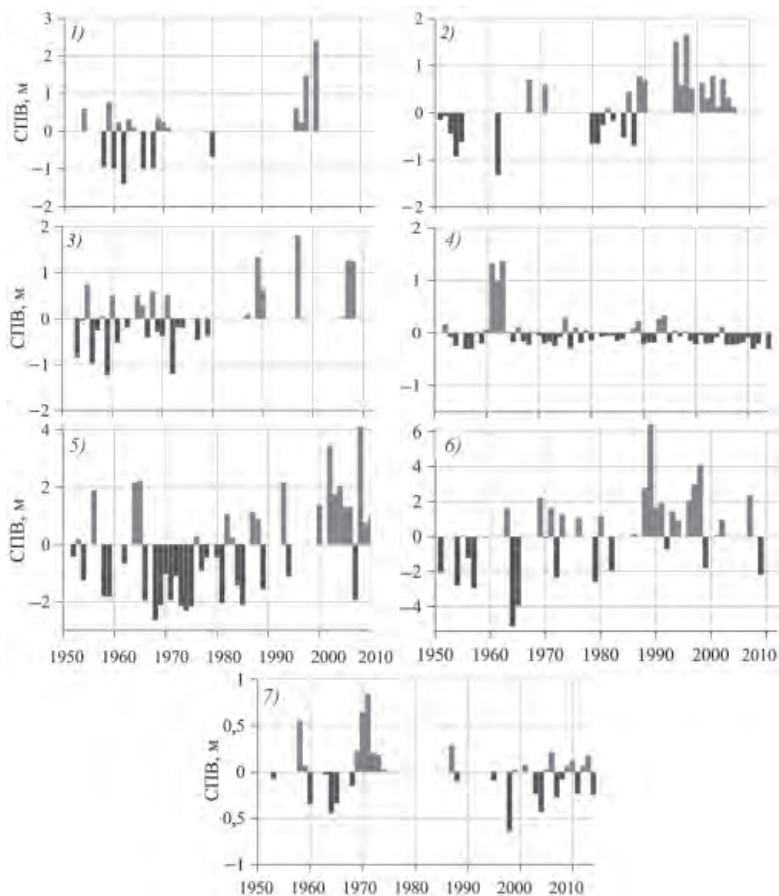


Рис. 5. Летние аномалии содержания пресной воды, номера точек на графиках соответствуют точкам на рис. 1б: 1 — 76° с.ш. 74° з.д. (северная часть залива Баффина); 2 — 71° с.ш. 55° з.д. (восточная часть залива Баффина); 3) — 66,5° с.ш. 59° з.д. (пролив Дэвиса); 4 — 78° с.ш. 7° в.д. (восточная часть пролива Фрама); 5 — 78° с.ш. 10° з.д. (западная часть пролива Фрама); 6 — 67,5° с.ш. 26,25° з.д. (Датский пролив); 7 — 56,5° с.ш. 51° з.д. (Лабрадорское море).

Авторы работы (Dickson et al., 1988) считали понижение солёности в Лабрадорском море в начале 1970-х гг. следствием усиления притока арктических вод с Восточно-Гренландским течением через пролив Фрама в 1960-х гг., на что позднее указывалось в работе (Houghton, Visbeck, 2002). Однако причина увеличения стока

распресненной воды из Арктического бассейна в этих работах не названа. Из нашего анализа следует, что основная причина увеличения опреснения в Северной Атлантике в 1970-е гг. — летнее потепление в Арктике в 1950-е гг. и в начале 1960-х гг.

В 1990–2000-е гг. за новыми более сильными летними потеплениями в Арктике также последовало увеличение СПВ в заливе Баффина, проливе Дэвиса и в западной части пролива Фрама (рис. 5). В этот же период наблюдается значительное содержание пресных вод в заливе Баффина у берегов Гренландии (рис. 5). Высокие положительные аномалии содержания пресных вод в этом районе связаны как с притоком распресненных вод из Арктики, так и увеличенным таянием ледников Гренландии в последние десятилетия (Bamber et al., 2012).

В проливе Фрама можно выделить оппозицию аномалий СПВ в восточной части и в западной части пролива (рис. 5). В западной части проходит поток распресненных вод из Арктики, а в восточной части — поток теплых и соленых атлантических вод. В 1960-е гг. сильная положительная аномалия СПВ отмечена и в восточной части пролива, а в западной части наблюдения отсутствовали. Можно лишь предположить, что сильная положительная аномалия СПВ проходила и через западную половину пролива, где обычно сосредоточен основной поток распресненной воды и льда из Арктического бассейна. Рис. 6 (см. цвет. вклейку) подтверждает распространение крупных аномалий солёности одного знака на большую часть пролива.

На рисунке 6 цвет. вклейки представлено распределение аномалий солёности на разрезах в заливе Баффина (по 76° с.ш.) и в западной части пролива Фрама (по 79,5° с.ш.) в разные десятилетия по данным Климатологического атласа (Korablev et al., 2014), по которым можно проследить их эволюцию на протяжении последних шести десятилетий. Отрицательная аномалия солёности 1960-х гг., проявившаяся как в проливе Фрама, так и в заливе Баффина, является предвестником «великой солёностной аномалии» (ВСА), наблюдавшейся в акватории Северной Атлантики в 1970-х гг.

Основным источником для СА 1990-х гг. был вынос морских льдов и пресной воды через проливы Канадского Арктического архипелага (Belkin, 2004), что подтверждается отрицательной аномалией солёности в 1990-х гг. на разрезе в северной части залива Баффина, в то время как в проливе Фрама наблюдалась положительная аномалия солёности. В последнее десятилетие 2001–2012 гг. в заливе Баффина видна обширная отрицательная аномалия солёности, проявляющаяся, но в меньшей степени, и в проливе Фрама. Такая согласованность в формировании аномалий похожа на 1960-е гг., что может быть предвестником новой «великой солёностной аномалии» в Северной Атлантике с соответствующими последствиями для климата.

На рис.7 (см. цвет. вклейку) представлено распределение аномалий средней солёности в верхнем слое Северной Атлантики по десятилетиям от 1950-х к 2001–2013 гг., показывающее 60-летний цикл эволюции от положительной аномалии 1950-х гг. через отрицательные аномалии 1970-х и 1980-х гг. к положительной аномалии 2001–2013 гг. В 1950-е гг. и 2001–2013 гг. в акватории Северной Атлантики отмечена повышенная солёность в результате увеличенного притока атлантических вод из низких широт. В 1970-е и 1980-е гг. для всего бассейна Северной Атлантики характерен отрицательный солёностный фон вследствие выноса распресненных вод из Арктики. Можно ожидать, что и за максимумом солёности 2001–2013 гг. последует новая отрицательная аномалия, подобная «великой солёностной аномалии» 1970–1980-х гг.

ВЫВОДЫ

Увеличение притока атлантических вод в Арктику в 1990–2000-е гг. привело к смещению запаса пресных вод в Канадский бассейн и уменьшению содержания распресненных вод над областями распространения атлантической воды. Влияние летних потеплений в Арктике отражается в содержании пресных вод Арктического бассейна и дальнейшем их поступлении в Северную Атлантику через пролив Фрама и проливы Канадского Арктического архипелага.

В Северо-Европейском бассейне и Северо-Западной Атлантике отмечаются периоды распреснения верхнего слоя в начале 1960-х, середине 1970-х и в 2000-е гг., связанные с усилением притока из Арктики и летнего таяния (в начале 1960-х и в 2000-е гг.). В последнее десятилетие большая часть потоков пресных вод проходит через проливы Канадского Арктического архипелага. Но с 2000 г. по настоящее время наблюдается общее повышение солености поверхностного слоя в рассматриваемом районе Северной Атлантики за счет увеличения притока из низких широт.

60-летний цикл в развитии аномалий солености от 1950-х к 2001–2013-м гг. может иметь продолжение в формировании новой «великой соленостной аномалии» в Северной Атлантике с соответствующими последствиями для климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.В., Богородский П.В., Нагурный А.П.* Структура термохалинных полей в районе циклонической циркуляции и поднятия донных вод Гренландского моря // Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне / Под ред. Ю.В. Николаева, Г.В. Алексеева. Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 37–43.
- Алексеев Г.В., Иванов В.В., Кораблев А.А.* Межгодовая изменчивость глубокой конвекции в Гренландском море // Океанология. 1995. Т. 35. № 1. С. 45–52.
- Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Пнюшков А.В., Балакин А.А.* Изменения климата в морской Арктике в начале XXI века // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3 (86). С. 22–34.
- Алексеев Г.В., Кораблев А.А.* Океанографические условия развития глубокой конвекции // Закономерности крупномасштабных процессов в Норвежской энергоактивной зоне и прилегающих районах. СПб.: Гидрометеиздат, 1994. С. 79–93.
- Кораблев А.А., Пнюшков А.В., Смирнов А.В.* Создание океанографической базы данных для мониторинга климата в Северо-Европейском бассейне Арктики // Труды ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 85–108.
- Сарафанов А.А., Соков А.В., Фалина А.С.* Потепление и осолонение лабрадорской водной массы и глубинных вод в субполярной Северной Атлантике на 60 с.ш. в 1997–2006 гг. // Океанология. 2009. Т. 49. С. 209–221.
- Aagaard K., Carmack E.C.* The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation // J. Geophys. Res. 1989. T. 94. № C10. P. 14485–14498.
- Alekseev G. V., Bulatov L.V., Zakharov V.F.* Fresh water freezing/melting cycle in the Arctic Ocean // The Freshwater Budget of the Arctic Ocean / Ed. E.L. Lewis, et al. Kluwer Academic Press, 2000. P. 589–608.
- Bamber J.L., Broeke M. Van Den, Ettema J., Lenaerts J., Rignot E.* Recent large increases in freshwater fluxes from Greenland into the North Atlantic // Geophys. Res. Lett. 2012. Vol. 39. № L19501. P. 8–11.
- Belkin I.M.* Propagation of the «Great Salinity Anomaly» of the 1990s around the northern North Atlantic // Geophys. Res. Lett. 2004. Vol. 31. № L08306. P. 1–4.
- Belkin I.M., Levitus S., Antonov J.I., Malmberg S.A.* «Great Salinity Anomalies» in the North Atlantic // Prog. Oceanogr. 1998. Vol. 41. P. 1–68.
- Curry R.G., McCartney M.S., Joyce T.M.* Oceanic transport of subpolar climate signals to mid-depth subtropical waters // Nature. 1998. Vol. 391. P. 575–577.

- Deser C., Walsh J.E., Timlin M.S.* Arctic sea ice variability in the context of recent atmospheric circulation trends // *J. of Clim.* 2000. Vol. 13. № 3. P. 617–633.
- Dickson R., Lazier J., Meincke J., Rhines P., Swift J.* Long-term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic // *Prog. Oceanogr.* 1996. Vol. 38. № 97. P. 241–295.
- Dickson R.R., Curry R., Yashayaev I.* Recent changes in the North Atlantic. // *Philos. Trans. R. Soc. London.* 2003. Vol. 361. P. 1917–1933.
- Dickson R.R., Meincke J., Malmberg S.-A., Lee A.J.* The «Great Salinity Anomaly» in the Northern North Atlantic 1968–1982 // *Prog. Oceanogr.* 1988. Vol. 20. P. 103–151.
- Dickson R.R., Osborn T.J., Hurrell J.W., Meincke J., Blindheim J., Adlandsvik B., Vinje T., Alekseev G., Maslowski W.* The Arctic Ocean Response to the North Atlantic Oscillation // *J. of Clim.* 2000. Vol. 13. № 15. P. 2671–2696.
- Dodd P.A., Heywood K.J., Meredith M.P., Naveira-Garabato A.C., Marca A.D., Falkner K.K.* Sources and fate of freshwater exported in the East Greenland Current // *Geophys. Res. Lett.* 2009. Vol. 36. № L19608. P. 1–5.
- Gerdes R., Hurka J., Karcher M., Kauker F., Koeberle C.* Simulated history of convection in the Greenland and Labrador seas, 1948–2001 // *The Nordic Seas: an integrated perspective* / Ed. H. Drange et al. Washington, D. C.: American Geophysical Union, 2005. P. 221–238.
- Gerdes R., Karcher M., Köberle C., Fieg K.* Simulating the long-term variability of liquid freshwater export from the arctic ocean // *Arctic-Subarctic Ocean Fluxes: Defining the Role of the Northern Seas in Climate* / Ed. R.R. Dickson, J. Meincke, P. Rhines. Dordrecht: Springer Science, 2008. P. 405–425.
- Getzlaff J., Böning C.W., Eden C., Biastoch A.* Signal propagation related to the North Atlantic overturning // *Geophys. Res. Lett.* 2005. Vol. 32. № L09602. P. 1–4.
- Griffies S.M., Bryan K.* A predictability study of simulated North Atlantic multidecadal variability // *Clim. Dyn.* 1997. Vol. 13. P. 459–487.
- Haak H., Jungclauss J., Mikolajewicz U., Latif M.* Formation and propagation of great salinity anomalies // *Geophys. Res. Lett.* 2003. Vol. 30. № 9. P. 1–4.
- Hakkinen S., Proshutinsky A.* Freshwater content variability in the Arctic Ocean // *J. Geophys. Res.* 2004. Vol. 109. P. 1–19.
- Houghton R.W., Visbeck M.H.* Quasi-decadal Salinity Fluctuations in the Labrador Sea // *J. Phys. Oceanogr.* 2002. Vol. 32. P. 687–701.
- Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M.* An Overview of the North Atlantic Oscillation // *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact.* Washington DC: American Geophysical Union, 2003. Geophysical Monograph Series. Vol. 134. P. 1–35.
- Jahn A. et al.* Arctic Ocean freshwater: How robust are model simulations? // *J. Geophys. Res.* 2012. Vol. 117. P. 1–22.
- Jahn A., Tremblay B., Mysak L. A., Newton R.* Effect of the large-scale atmospheric circulation on the variability of the Arctic Ocean freshwater export // *Clim. Dyn.* 2010. Vol. 34. № 1989. P. 201–222.
- Koenig T., Mikolajewicz U., Haak H., Jungclauss J.* Arctic freshwater export in the 20th and 21st centuries // *J. Geophys. Res. Biogeosciences.* 2007. Vol. 112. P. 1–11.
- Komuro Y., Hasumi H.* Intensification of the Atlantic Deep Circulation by the Canadian Archipelago Throughflow // *J. Phys. Oceanogr.* 2005. Vol. 35. P. 775–789.
- Korabely A.A., Smirnov A. V., Baranova O.K.* Climatological atlas of the Nordic Seas and Northern North Atlantic. URL: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/nordic-seas/> [дата обращения: 14.06.2014].
- Kwok R., Cunningham G.F., Pang S.S.* Fram Strait sea ice outflow // *J. Geophys. Res.* 2004. Vol. 109. № C01009. P. 1–14.
- Kwok R., Rothrock D.A.* Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records: 1958–2008 // *Geophys. Res. Lett.* 2009. Vol. 36. № L15501. P. 1–5.
- Lazier J.R.N.* Oceanographic conditions at Ocean Weather Ship Bravo, 1964–1974 // *Atmosphere–Ocean.* 1980. Vol. 18. № 3. P. 227–238.
- Morison J., Kwok R., Peralta-Ferriz C., Alkire M., Rigor I., Andersen R., Steele M.* Changing Arctic Ocean freshwater pathways // *Nature.* 2012. Vol. 481. № 7379. P. 66–70.

- Myers P.G. Impact of freshwater from the Canadian Arctic Archipelago on Labrador Sea Water formation // *Geophys. Res. Lett.* 2005. Vol. 32. C. 1–4.
- Overeem I., Syvitski J.P.M. Shifting Discharge Peaks in Arctic Rivers, 1977–2007 // *Geogr. Ann.* 2010. Vol. 92. № 2. P. 285–296.
- Proshutinsky A., Krishfield R.A., Timmermans M.-L., Toole J., Carmack E., McLaughlin F., Williams W.J., Zimmermann S.L., Itoh M., Shimada K. Beaufort Gyre freshwater reservoir: State and variability from observations // *J. Geophys. Res.* 2009. Vol. 114. № C00A10. P. 1–25.
- Rabe B., Dodd P.A., Hansen E., Falck E., Schauer U., MacKensen A., Beszczynska-Möller A., Kattner G., Rohling E.J., Cox K. Liquid export of Arctic freshwater components through the Fram Strait 1998–2011 // *Ocean Sci. Discuss.* 2013. Vol. 9. P. 91–109.
- 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. Res. I.* 2011. Vol. 58. P. 173–185.
- Rudels B. Volume and freshwater transports through the Canadian Arctic Archipelago-Baffin Bay system // *J. Geophys. Res. Ocean.* 2011. Vol. 116. P. 1–14.
- Serreze M.C., Barrett A.P., Slater A.G., Woodgate R.A., Aagaard K., Lammers R.B., Steele M., Moritz R., Meredith M., Lee C.M. The large-scale freshwater cycle of the Arctic // *J. Geophys. Res. Ocean.* 2006. Vol. 111. № C11010. P. 1–19.
- Shiklomanov I.A., Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Peterson B.J., Vorosmarty C.J. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean // *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean* / Eds. E.L. Lewis, et al. Kluwer Academic Press, 2000. P. 281–296.
- Spreen G., Hansen E., Kwok R., Gerland S. Fram Strait Sea Ice Volume Export 1992–2012 from Combined ULS and Satellite Data // *American Geophysical Union, Fall Meeting.*, 2013. URL: <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/194641/1/%C3%A5rsmelding2013.pdf> [дата обращения 20.08.2015]
- Våge K., Pickart R.S., Thierry V., Reverdin G., Lee C.M., Petrie B., Agnew T. a., Wong A., Ribergaard M.H. Surprising return of deep convection to the subpolar North Atlantic Ocean in winter 2007–2008 // *Nat. Geosci.* 2009. Vol. 2. № 1. P. 67–72.
- White D., Hinzman L.D., Alessa L., Cassano J., Chambers M., Falkner K., Francis J., Gutowski W.J., Holland M., Max Holmes R., Huntington H., Kane D.L., Kliskey A., Lee C., McClelland J., Peterson B.J., Scott Rupp T., Straneo F., Steele M., Woodgate R., Yang D., Yoshikawa K., Zhang T. The arctic freshwater system: Changes and impacts // *J. Geophys. Res. Biogeosciences.* 2007. Vol. 112. № G04S54. P. 1–21.
- Wu P., Gordon C. Oceanic influence on North Atlantic climate variability // *J. of Clim.* 2002. Vol. 15. № 14. P. 1911–1925.
- Zhang R., Vallis G.K. Impact of Great Salinity Anomalies on the Low-Frequency Variability of the North Atlantic Climate // *J. of Clim.* 2006. Vol. 19. P. 470–482.

A.E. VIAZILOVA, G.V. ALEKSEEV, A.A. BALAKIN, A.V. SMIRNOV

INFLUENCE OF THE ARCTIC ON SALINITY ANOMALY FORMATION IN THE NORTH-WEST ATLANTIC AND NORTH EUROPEAN BASIN

Influence of fresh water content in the Arctic basin on salinity variations in neighboring water areas of the North Atlantic is examined. Special attention is given to the role of summer melting in formation of anomalies of fresh water flows from the Arctic. Abnormal warm summer seasons in Arctic in 1960s and 2000s are coherent with appearance of negative salinity anomalies in the North Atlantic during the indicated periods. Consistency in salinity anomalies evolution in 1950–60s and 2001–2013s could be a precursor of a new “Great salinity anomaly” in the North Atlantic with the relevant consequences for the climate.

Keywords: Arctic, subpolar Atlantic, fresh water inflow, salinity anomaly.

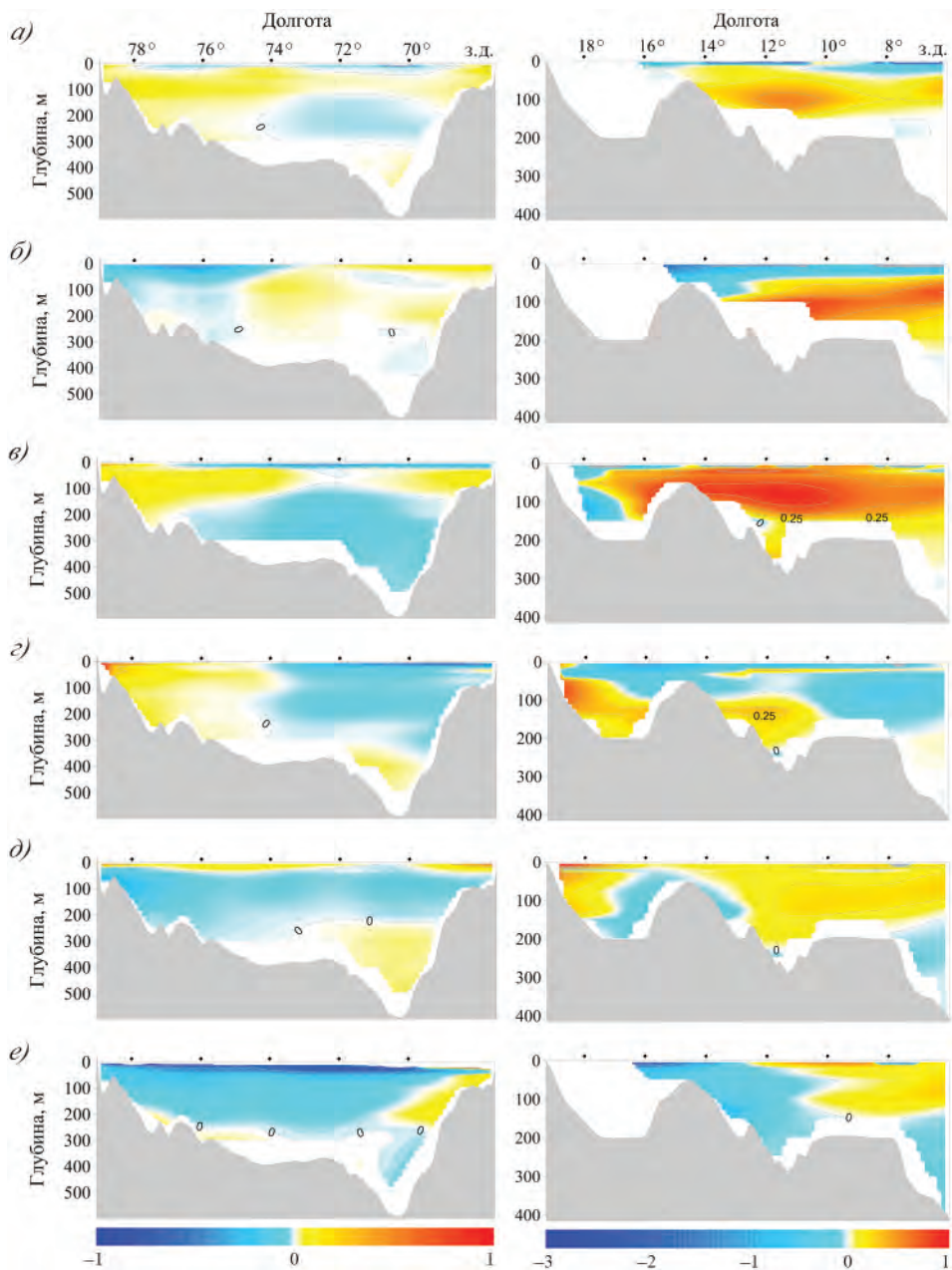


Рис. 6. Эволюция аномалий солёности на разрезах: в северной части залива Баффина (левая колонка), западной части пролива Фрама (правая колонка) в 1951–1960 гг. (а), 1961–1970 гг. (б), 1971–1980 гг. (в), 1981–1990 гг. (г), 1991–2000 гг. (д), 2001–2012 гг. (е).

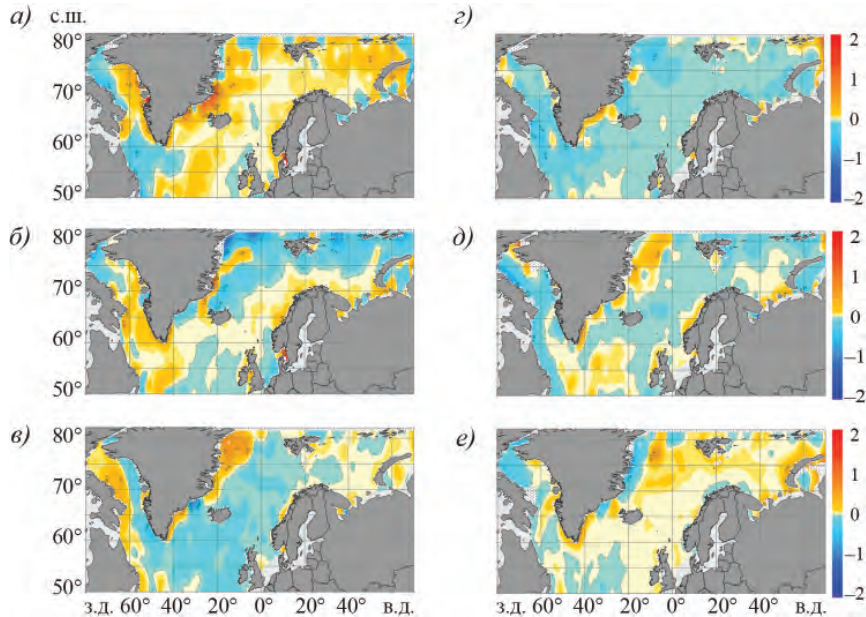


Рис. 7. Климатические поля аномалий солёности по декадам: 1951–1960 гг. 20 м (а), 1961–1970 гг. 20 м (б), 1971–1980 гг. 50 м (в), 1981–1990 гг. 50 м (г), 1991–2000 гг. 50 м (д), 2001–2013 гг. 50 м (е).