

## ТЕРМОХАЛИННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В 2012 г. И ТЕНДЕНЦИИ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

*д-р физ.-мат. наук Л.А.ТИМОХОВ, канд. геогр. наук И.М.АШИК,  
канд. геогр. наук С.А.КИРИЛЛОВ, ст. науч. сотр. В.Ю.КАРПИЙ,  
ст. науч. сотр. Н.В.ЛЕБЕДЕВ, рук. ВАЭ В.Т.СОКОЛОВ*

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

*В статье представлены оценки термохалинного состояния Арктического бассейна Северного Ледовитого океана и арктических морей по данным экспедиционных исследований 2012 г. Положительные аномалии поверхностной температуры воды и распределение поверхностного слоя летом 2012 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. Дипольная структура поля аномалий поверхностной солёности, наблюдаемая с 2007 г. и выраженная в больших отрицательных аномалиях в Американо-Северном суббассейне и незначительных положительных аномалиях в Евразийском, в 2012 г. сохранилась, но претерпела некоторые изменения, а также наблюдается тенденция к уменьшению контраста солёности между Евразийским и Американо-Северным суббассейнами. В центре антициклонического круговорота в Канадской котловине за последние 60 лет наблюдаются существенные изменения. Начиная с 90-х годов прошлого века произошло резкое уменьшение солёности: от 30–31 ‰ до 26–27 ‰ для зимнего периода и от 29–31 ‰ до 24–25 ‰ для летнего.*

*Ключевые слова:* Северный Ледовитый океан, поверхностный слой океана, аномалии поверхностной температуры и солёности, тенденции изменений, Евразийский суббассейн, Американо-Северный суббассейн.

### ВВЕДЕНИЕ

Уменьшение площади льдов в Северном Ледовитом океане (СЛО) в летний период с историческими минимумами в 2003, 2005, 2007 гг., экстремальное потепление атлантических вод в Евразийском суббассейне в 2003–2004 г. [Polyakov et al., 2005], значительное повышение температуры летних тихоокеанских вод, расширение ареала зимних тихоокеанских вод – все феномены в совокупности нашли отражение в существенной перестройке термохалинной структуры СЛО [Timokhov et al., 2012]. При этом сезонные изменения в поверхностном слое океана летом 2007 г. были столь большими, а изменения в промежуточных слоях и в слое атлантических вод настолько значительными, что состояние 2007 г. было отнесено к разряду экстремальных [Фролов и др., 2009].

В 2008–2011 гг. продолжалось сохранение крупномасштабных зон, характеризующихся существенными аномалиями термохалинного состояния СЛО. Хотя величины

аномалий уменьшились по сравнению с летом 2007 г. и зимой 2007–2008 гг. Однако наступивший 2012 г. вновь стал рекордным – произошло значительное сокращение площади летних льдов, и был установлен новый исторический минимум ледовитости СЛО [Обзор, 2013]. В этой связи особенно актуальным становится анализ океанологических процессов, протекавших в 2012 г.

В данной статье уделено внимание верхнему слою как наиболее изменчивой структуре океана. В статье описываются данные наблюдений, анализируется влияние предыстории на развитие океанологических процессов, дается диагноз океанографических процессов, производится оценка термохалинного состояния и описываются тенденции изменения состояния верхнего слоя СЛО в 2012 г.

#### ДАнные НАБЛЮДЕНИЙ

Для оценки термохалинного состояния вод СЛО в 2012 г. была использована океанографическая информация, полученная из отечественных и зарубежных источников. Большая часть океанографических наблюдений была выполнена на акватории глубоководной части Арктического бассейна, где в 2012 г. функционировало 13 ИТР-буев, оснащенных профилографами. Кроме ИТР-буев, в СЛО выполняли исследования несколько российских и зарубежных экспедиций на судах а/л «Россия» (РФ), НИС «Профессор Молчанов» (РФ), НИЛ «Хили» (США), «Луи Сен-Лоран» (Канада), «Поларштерн» (Германия), «Мирай» (Япония), а также российские дрейфующие станции «Северный полюс-39», «Северный полюс-40» и две зимние воздушные экспедиции: российско-германская экспедиция «Полярная-2012» /«TRANSDRIFT-XX» в море Лаптевых и канадская экспедиция «Switchyard» к северу от Гренландии. Положение

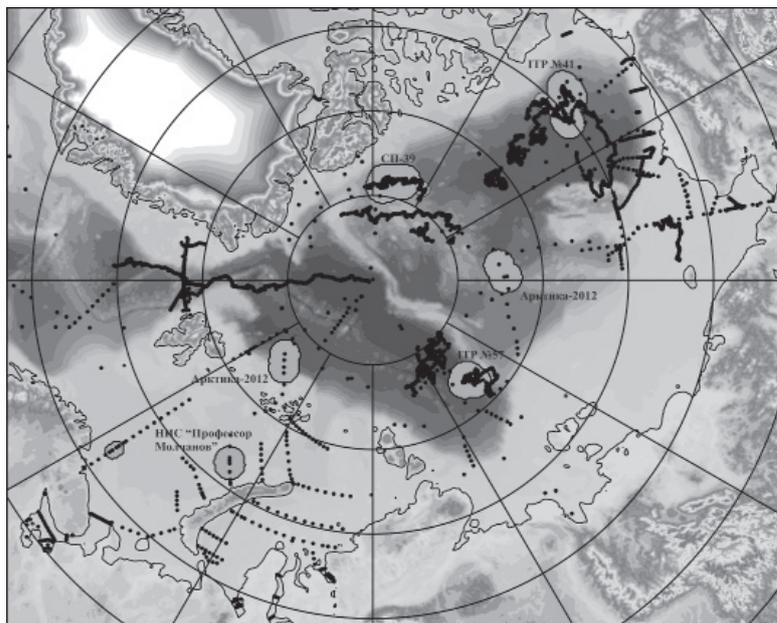


Рис. 1. Положение океанографических станций, информация которых использовалась для оценки термохалинного состояния вод Северного Ледовитого океана в 2012 г. Характерные вертикальные распределения солёности и температуры воды в зонах, отмеченных эллипсами, приведены на рис. 2–4.

всех выполненных океанографических станций, данные которых использовались в статье, показано на рис. 1.

Для анализа вертикальной термохалинной структуры по данным наблюдений в 2012 г. был осуществлен расчет основных статистических характеристик (среднее, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения) вертикальных профилей температуры и солёности. При этом было проведено предварительное объединение исходных данных по географическому признаку, но в ряде случаев использовались данные отдельных станций, типичных для всей выборки измеренных профилей из анализируемого района. Сравнительный анализ выполнялся путем сопоставления вертикальных профилей основных статистических характеристик температуры и солёности, полученных для каждой из выделенных групп, с аналогами, определяемыми на стандартных горизонтах за весь исторический период наблюдений до 2000 г. в пределах полосы шириной 50–100 км.

Для анализа сезонных изменений термохалинного состояния поверхностного слоя использовались данные наблюдений на дрейфующей станции СП-39, а также измерения температуры и солёности ИТР-буев № 41, 48, 53, 56, 58.

Карты температуры и солёности были построены только для летне-осеннего сезона, поскольку в этот период были выполнены океанографические наблюдения в количестве, достаточном для построения карт. Аномалии температуры и солёности поверхностного слоя для конца лета 2012 г. были рассчитаны относительно средних полей для летнего периода 1950–1989 гг., приведенных в Океанографическом атласе Северного Ледовитого океана [Атлас, 1997].

#### ПРЕДЫСТОРИЯ

В поверхностном слое океана летом 2011 г. термическое состояние характеризовалось положительными аномалиями температуры в Карском море до 1,0–1,5 °С и в море Лаптевых до 5–7 °С. В Евразийском суббассейне летом 2011 г. наблюдались положительные аномалии солёности величиной до 1,0–1,5 ‰, и зона осолонения в этом регионе сохранилась до осени, несколько изменив свою конфигурацию [Обзор, 2011, 2012].

В прибрежной зоне Американо-Азиатского суббассейна значения аномалий температуры поверхностного слоя были на 1–2 °С ниже, чем в евразийской части АБ. На глубоководной акватории Американо-Азиатского суббассейна СЛО летом 2011 г. наблюдалось значительное распреснение поверхностного слоя. Отрицательные аномалии солёности достигали 4–5 ‰, которые, несколько уменьшившись по величине, сохранились и осенью 2011 г.

В осенний период ледообразование началось позже нормы. В арктических морях, на северных границах которых сохранялись остаточные льды (северо-восток Карского, Восточно-Сибирское, Бофорта), задержка в сроках ледообразования составила 5–10 суток. В морях, которые были полностью свободны от льда (Баренцево, Карское, Чукотское), аномалии сроков устойчивого ледообразования осенью 2011 г. были значительны, они достигали 30–40 суток позже климатических дат.

В декабре происходило дальнейшее развитие ледяного покрова и увеличение его толщины. Однако темпы нарастания льда значительно отставали от средних многолетних. Надо полагать, что и сезонное увеличение солёности поверхностного слоя, связанное с выделением солей при ледообразовании, было замедленным.

Состояние летних тихоокеанских вод (ЛТВ), которые располагаются в Американо-Азиатском суббассейне под поверхностными водами, в 2011 г. характеризовалось

отрицательными аномалиями солёности и большими положительными аномалиями температуры, которые по своим значениям выходили далеко за пределы стандартных отклонений, полученных по историческим данным.

Располагающиеся еще глубже атлантические воды (АВ) в 2011 г. были всюду в Арктическом бассейне теплее нормы. Значения аномалий температуры АВ были максимальными в западных частях СЛО, где они достигали 1 °С, и постепенно уменьшались в восточном направлении до 0,30–0,35 °С в районе антициклонического круговорота к северу от моря Бофорта.

Таким образом, начальные условия для 2012 г. в Амеразийском суббассейне характеризовались аномальным распределением поверхностного слоя, а в Евразийском суббассейне – небольшим осолонением. Дальнейшее развитие океанологических процессов в 2012 г. определялось, прежде всего, воздействием ветра, потоками тепла воздушных масс, влиянием солнечной радиации, таянием и нарастанием льда, сопровождавшихся распределением и осолонением поверхностного слоя.

### **ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОКЕАНА**

Недостаточное покрытие акватории СЛО данными измерений в зимний и весенний периоды не позволило выполнить полноценный анализ пространственной структуры полей температуры и солёности. Поэтому диагноз состояния поверхностного слоя был выполнен по данным наблюдений нескольких дрейфующих ИТР-буев для Амеразийского суббассейна.

Как следствие предыстории, зимой в первой декаде 2012 г. в Амеразийском суббассейне наблюдались значительные отрицательные аномалии солёности, сравнимые с аномалиями солёности зимой 2006–2007 г., но меньшие по величине по сравнению с аномалиями зимы 2007–2008 г. Отметим также, что зимой начала 2012 г. аномалия температуры воздуха для широтной зоны 70–85° с.ш. составила +3,9 °С, что является вторым для зимнего сезона значением по рангу теплых лет [Обзор, 2012, 2013].

На рис. 2 приведены характерные вертикальные распределения солёности и температуры воды для зимнего сезона по результатам STD-зондирования на станции СП-39, дрейфовавшей вблизи поднятия Альфа, и буя ИТР-41, дрейфовавшего в северной части моря Бофорта вблизи поднятия Бофорта. Толщина верхнего перемешанного слоя в районе нахождения СП-39 составляла 30 м, а в районе ИТР-41 – 25 м, что на 5–10 м меньше среднего климатического значения [Гарманов и др., 2008]. Как видно из рисунка, солёность воды в верхнем перемешанном слое была на 2–3 ‰ меньше средних климатических значений. Поскольку зимой температура воды в поверхностном слое близка к точке замерзания, зависящей от величины солёности, то и поверхностная температура была выше средних климатических значений.

Летом и осенью температурный фон и характер атмосферной циркуляции во многом определили интенсивность таяния льдов и положение кромки льда в СЛО. Аномалии температуры воздуха для широтной зоны 70–85° с.ш. в 2012 г. составили летом +2,0 °С и осенью +3,6 °С. Это первое для летнего и осеннего сезонов значение по рангу теплых лет [Обзор, 2012, 2013]. В июне в результате выносного характера дрейфа льда и адвекции тепла в морях российского сектора Арктики и в море Бофорта начали формироваться отрицательные аномалии ледовитости.

Термическое и динамическое воздействие атмосферы, потоки солнечной радиации, таяние и дрейф льда летом 2012 г. сыграли ключевую роль в изменении океанографических характеристик и формировании особенностей состояния по-

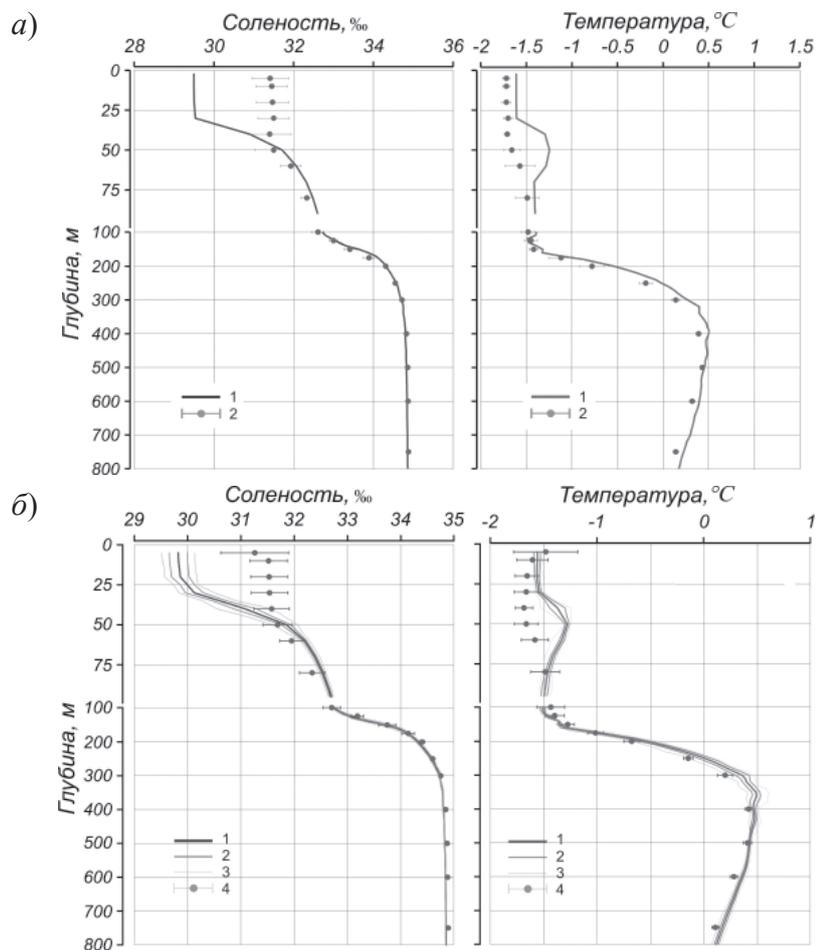


Рис. 2. Характерное вертикальное распределение солености и температуры воды по результатам STD-зондирования (а) в точке с координатами 83,93° с.ш., 119,16° з.д., выполненного на дрейфующей станции СП-39 (28 февраля 2012 г.) и (б) в точке с координатами 75,27° с.ш., 133,22° з.д. буем ИТР-41 (12 марта 2012 г.).

1 – профиль температуры и солености, 2 – средние климатические значения и стандартные отклонения соответствующих характеристик по историческим данным базы океанографических данных СЛО отдела океанологии ААНИИ до 2000 г.

верхностного слоя арктических морей и Арктического бассейна. Перечисленные факторы стали причиной значительного распреcнения и радиационного прогрева поверхностного слоя океана. Уже во втором квартале начали формироваться положительные аномалии температуры воды в большинстве районов СЛО. Особенно большая положительная аномалия температуры воды сформировалась в Баренцевом море (рис. 3а, б). По данным экспедиции на НИС «Профессор Молчанов» в Баренцевом море на разрезе Кольский меридиан температура воды в слое от 5 до 300 м была на 2–2,5 °C выше нормы (рис. 3а), а в поверхностном слое 5–15 м на траверзе полуострова Адмиралтейства островов Новая Земля (рис. 3б) положительная аномалия температуры воды достигала 4 °C! Можно предположить, что большое по-

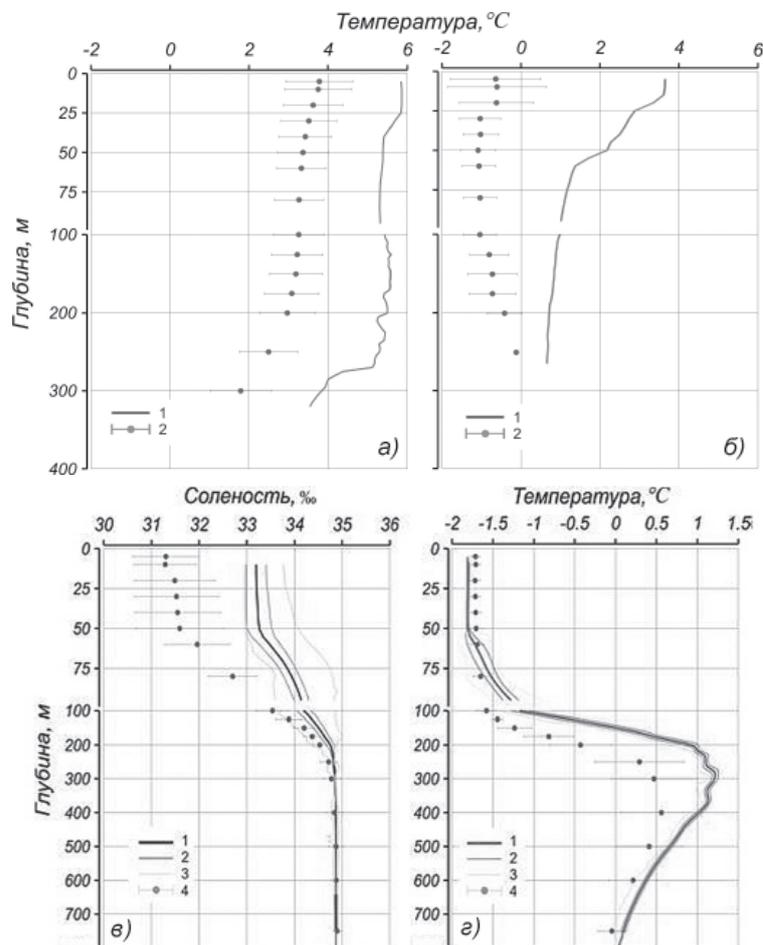


Рис. 3. Характерные вертикальные распределения во втором квартале температуры воды по результатам STD-зондирований в Баренцевом море в районах расположения ядра теплых вод североатлантического происхождения на разрезе Кольский меридиан (а) и на траверзе полуострова Адмиралтейства (Новая Земля) (б), а также солёности (в) и температуры (г) воды в приполюсном районе по данным ИТР-56.

Условные обозначения на рисунках (а) и (б) подобны представленным на рис. 2. Условные обозначения на рисунках (в) и (г): 1 – профиль температуры и солёности, 2 – огибающие измеренных профилей, 4 – средние климатические значения и стандартные отклонения соответствующих характеристик по историческим данным базы океанографических данных, 3 – огибающая отклонений.

тепление в Баренцевом море было вызвано не только атмосферным воздействием, но и влиянием притока теплых атлантических вод. Подтверждением этого могут служить наблюдения экспедиции «Арктика-2012» к северу от архипелага Земля Франца-Иосифа, где температура вод атлантического происхождения на глубине 75–100 м была выше нормы на 1,5–2 °С.

В Карском море на протяжении всего осенне-зимнего периода (ноябрь – апрель) преобладали устойчивые сильные юго-западные ветра, в результате чего лёд интенсивно выносился из Карского моря, а в его юго-западной части до марта сохранялась

полюнья чистой воды. Такое воздействие атмосферных процессов сказалось на формировании гидрологических условий в Карском море и выразилось в смещении фронтальной зоны распресненных речным стоком морских вод в восточном направлении. С запада зона влияния распресненных вод, по данным экспедиции «Ямал–Арктика 2012», была ограничена 70° в.д., с севера 74–75° с.ш. Подобное распределение является не совсем типичным, так как концу летнего периода речные воды, как правило, распространяются от устья Оби и Енисея севернее, достигая широты мыса Желания (77° с.ш.), как это наблюдалась по съемкам 2007 и 2008 гг. Распресненные и относительно более теплые воды речного происхождения распространялись на восток вдоль побережья, создавая значительную отрицательную аномалию солености в поверхностном слое. Центральная часть моря при этом оказалась в зоне формирования значительной положительной аномалии солености, максимальные значения которой достигали +5...+6 ‰.

Вместе с тем в некоторых районах Арктического бассейна наблюдались аномалии противоположного знака. Так, в приполюсной области во втором квартале в поверхностном слое было зафиксировано осолонение с положительной аномалией до 2 ‰ (рис. 3в), а температура воды была ниже нормы на 0,2 °С (рис. 3з).

В третьем квартале благодаря интенсивному таянию льдов и воздействию атмосферных процессов в центральном районе Канадской глубоководной котловины, в районе хребта Менделеева и восточного склона хребта Ломоносова распреснение поверхностного слоя достигло максимальной величины. Отрицательные аномалии солености в этих областях достигали 2–3 ‰, и всюду здесь отмечались положительные аномалии температуры воды (рис. 4а, б, з). При этом произошло уменьшение толщины верхнего перемешанного слоя. В Канадской котловине толщина перемешанного слоя была порядка 15 м, а в районе хребта Менделеева и к северу от архипелага Земля Франца-Иосифа – менее 10 м (ИТР производят измерения глубже 7–10 м). По сравнению со средними климатическими значениями толщины перемешанного слоя летом толщина слоя в указанных областях была меньше 10–20 м.

В районе западного склона хребта Ломоносова летом 2012 г. было зафиксировано осолонение поверхностного слоя. Положительная аномалия солености была порядка 1,5 ‰, и температура воды была ниже нормы (рис. 4в).

Чтобы составить пространственную картину следствий весенних и летних процессов, нами были построены карты распределения температуры и солености и их аномалий интегрально для середины и конца лета 2012 г. Анализ распределения температуры в поверхностном слое 5–10 м показал, что площадь, занятая водами с температурой выше –1,0 °С, была, как и летом 2007 г., почти в 2 раза больше климатической. Т.е. тепловое состояние поверхностного слоя было значительно выше климатической нормы. Зоны высоких температур воды до 4 °С и выше наблюдались в морях Бофорта, Чукотском, Лаптевых и Карском (рис. 5а). При этом наибольшее превышение температуры над средними многолетними значениями отмечалось в Карском море, где аномалия температуры достигала 3–6 °С (рис. 5б).

В распределении солености воды наблюдалось, как и в предыдущие годы, распреснение поверхностного слоя в Амеразийском суббассейне и осолонение в Евразийском суббассейне. При этом наименьшие значения солености были зафиксированы в Канадской котловине (рис. 5з), где отрицательные аномалии солености составляли порядка –4 ‰ (рис. 5з). В Евразийском суббассейне слабое осолонение

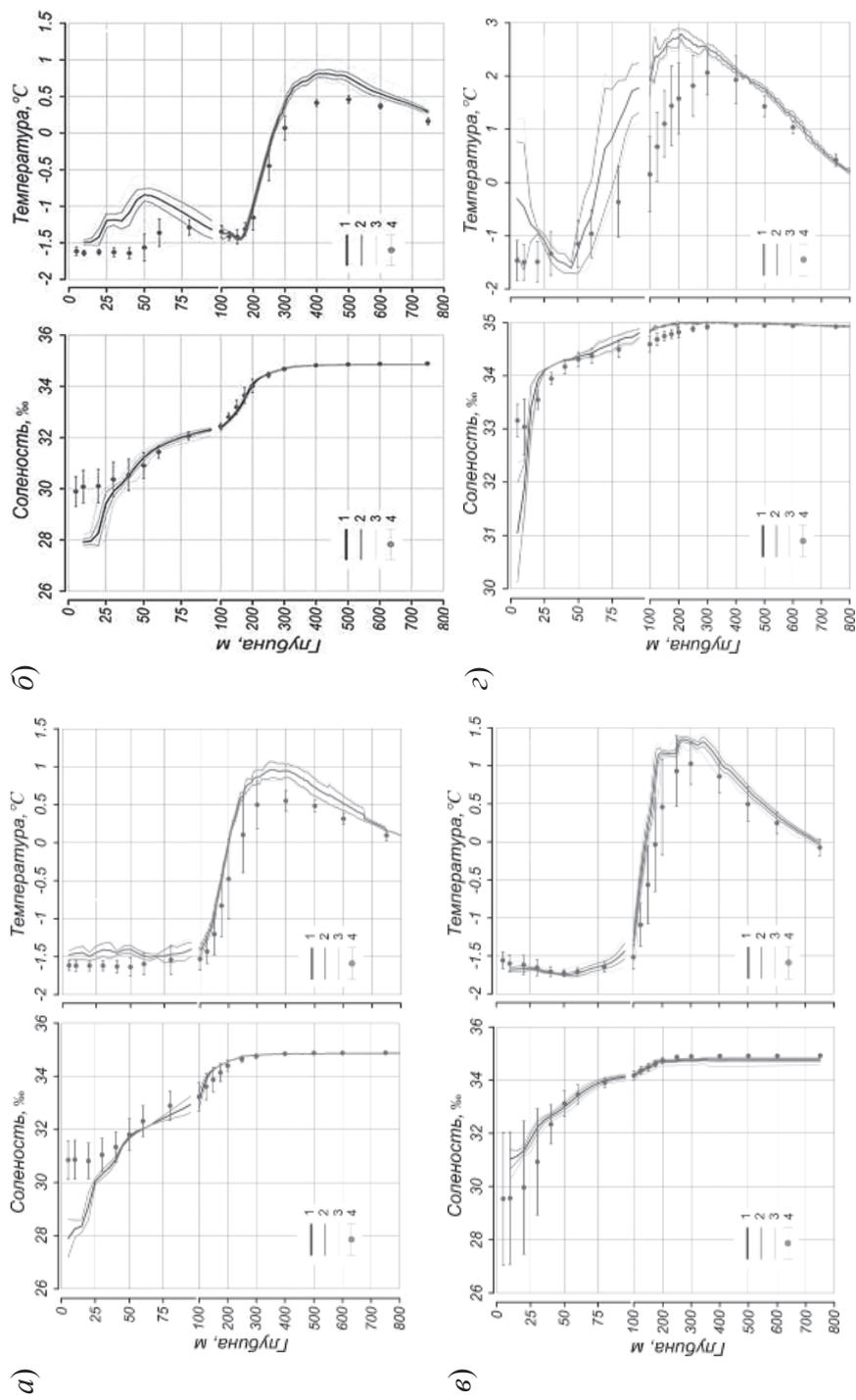


Рис. 4. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в третьем квартале 2012 г. по результатам измерений (а) ИТР-65 в центральном районе Канадской глубоководной котловины, (б) экспедиции «Арктика-2012» в районе хребта Менделеева, (в) ИТР-57 в районе западного склона хребта Ломоносова и (г) экспедиции «Арктика-2012» к северу от архипелага Земля Франца-Иосифа. Условные обозначения см. на рис. 3.

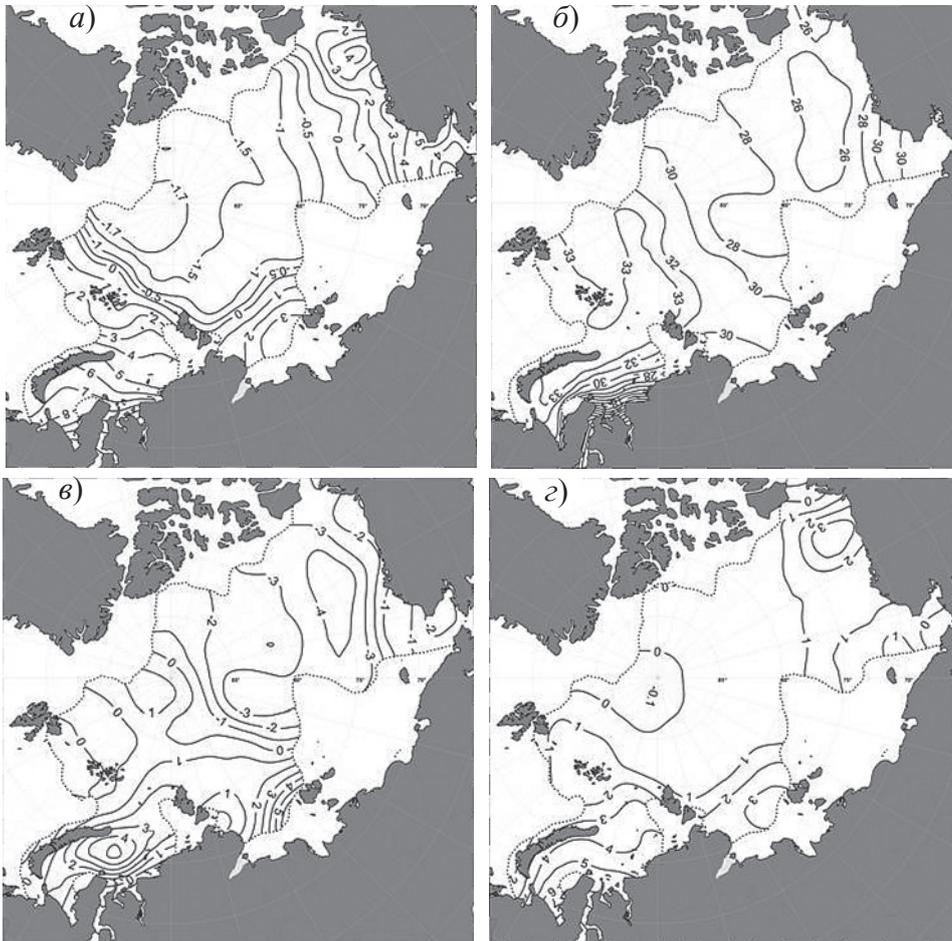


Рис. 5. Пространственное распределение температуры (а) и солёности (б) на глубине 5–10 м по данным измерений в августе–сентябре 2012 г. Внизу приведены аномалии температуры (в) и солёности (г) воды по отношению к климатическим значениям.

поверхностного слоя наблюдалось на всей акватории, а в морях Карское и Лаптевых солёность поверхностного слоя характеризовалась большими положительными аномалиями до 5 ‰ (рис. 5г).

Измерения температуры и солёности на дрейфующих станциях СП и дрейфующих ИТР-буях составляют временные серии порядка года и более. Однако выделить из этих наблюдений сезонную изменчивость трудно в силу того, что наблюдательные платформы не остаются в одной и той же географической точке. Дрейфуя, СП и ИТР перемещаются из одного географического места с характерными для него вертикальными профилями температуры и солёности и сезонным циклом в другое географическое место с другими вертикальными профилями океанографических характеристик и другим сезонным циклом. Поэтому, кроме сезонного цикла на отрезке дрейфа, наблюдения фиксируют также пространственную изменчивость океанографических параметров.

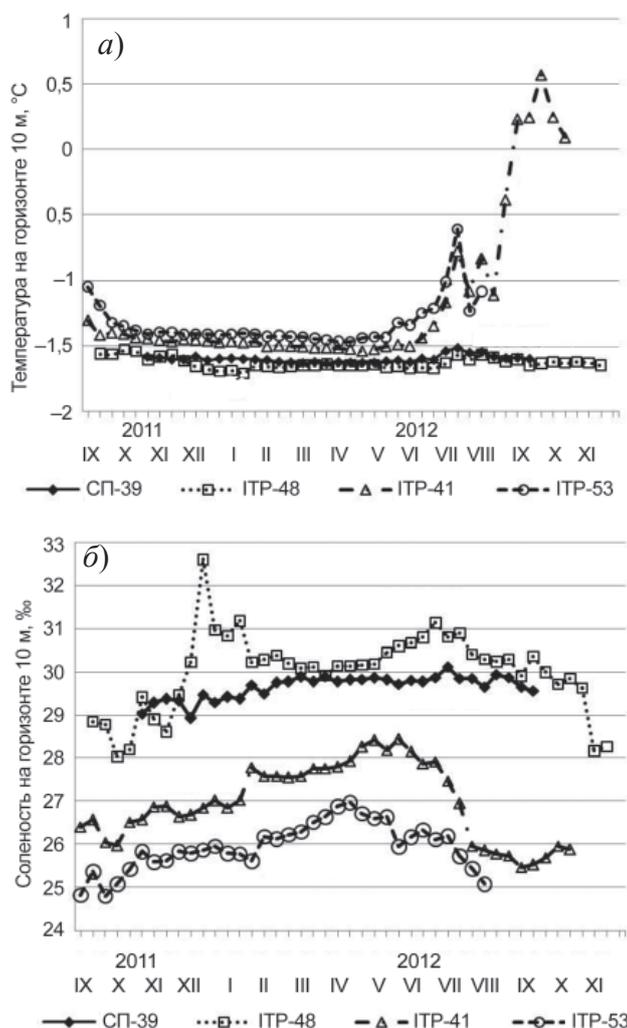


Рис. 6. Временные серии температуры и солёности на горизонте 10 м на дрейфующей станции СП-39 и дрейфующих буйах ИТР-41, ИТР-48, ИТР-53 с первой декады сентября 2011 г. по вторую декаду ноября 2012 г. Величины температуры и солёности приводятся на первое число декады.

Нами была выбрана пара временных серий наблюдений на ИТР-41 и ИТР-53 (рис. 6а, б), которые дрейфовали на южной периферии антициклонического круговорота к северу от моря Бофорта преимущественно вдоль изолиний поверхностной солёности, что уменьшает влияние пространственной термохалинной неоднородности на результаты наблюдений. К востоку от Чукотского поднятия минимальные температуры наблюдались до 2-й декады мая (рис. 6, ИТР-53), а вблизи от материкового склона островов Канадского Архипелага минимальные температуры сохранялись до первой декады июня (рис. 6, ИТР-41). Затем температура воды стала быстро повышаться и достигла максимума во второй декаде июля. Далее наметилось понижение температуры, но в районе дрейфа ИТР-41 температура снова начала повышаться, достигнув

максимума в третьей декаде сентября, что, вероятно, связано с выходом буя в район сильно разреженного льда. Межсезонная амплитуда температуры воды на горизонте 10 м в 2012 г. для района дрейфа ГТР-41 составила 2,11 °С.

Соленость менялась от минимальной в третьей декаде сентября предыдущего года до максимальной во второй декаде марта в районе дрейфа ГТР-53 и третьей декаде мая в районе дрейфа ГТР-41. Затем соленость стала уменьшаться, достигнув минимума в первой декаде сентября в районе дрейфа ГТР-53 (рис. 6а, б), а сезонная амплитуда солености составила 2,98 ‰ – почти в 1,5 больше средней климатической амплитуды для этого района для периода 1950–1989 гг. [Joint U.S.-Russian Atlas, 1997; 1998].

Для сравнения приведем временные серии наблюдений на ГТР-48, дрейфовавшем над поднятием Альфа, и СП-39, дрейфовавшей южнее поднятия Альфа ближе к материковому склону архипелага Канадские острова (см. рис. 1). В силу определенной близости их траекторий дрейфа, кривые временной изменчивости температуры и солености оказались подобными. Как видим из рис. 6а, б, температуры воды в районе их дрейфа были ниже, чем на южной периферии антициклонического круговорота, во-первых, потому, что их дрейф был почти на 10° севернее, во-вторых, дрейф проходил в зоне многолетних льдов. Максимум температуры на глубине 10 м здесь наблюдался во второй декаде июля. Амплитуда изменения от максимальной к минимальной температуре в районе дрейфа ГТР-48 составила 0,05 °С. Соленость изменялась от минимальной в первой декаде октября в районе дрейфа ГТР-48 до максимальной в третьей декаде июня на ГТР-48 и в первой декаде июля на СП-39. Пульсации величины солености в декабре 2011 г. на ГТР-48 могли быть связанными как с пересечением фронтальной зоны, так и с прохождением поверхностного вихря. Минимальная соленость наблюдалась в первой декаде ноября в районе дрейфа ГТР-48 (рис. 6а, б). Амплитуда изменения от максимальной к минимальной солености в районе дрейфа ГТР-48 на горизонте 10 м в 2012 г. составила 2,95 ‰. Средняя климатическая сезонная амплитуда солености для этого района на горизонте 10 м равна 0,5–0,7 ‰ [Joint U.S.-Russian Atlas, 1997; 1998]. Если принять за максимальную оценку увеличение солености на 0,5 ‰ вследствие перемещения ГТР-48 из менее соленой зоны поверхностного слоя в зону с большей соленостью (ГТР-48 дрейфовала в сторону пролива Фрама), то и в этом случае сезонная амплитуда солености для этого района в 2012 г. была в 4–5 раз больше средней климатической сезонной амплитуды для периода 1950–1989 гг.

#### ТЕНДЕНЦИИ

Анализ изменчивости солености в слое 5–10 м в двух точках Арктического бассейна (рис. 7) показывает, что от аномального 2007 г. к аномальному 2012 г. произошли следующие изменения. В Канадской котловине продолжалось распреснение поверхностного слоя; зимняя и летняя соленость в 2012 г. несколько уменьшилась по сравнению с 2007 г. Но самое большое распреснение отмечалось летом 2011 г. Линейный тренд солености в интервале лет 2007–2012 в этой точке был отрицательный. Температура летом 2012 г. в этом районе была ниже, чем летом 2007 г.

В центральной части Евразийского суббассейна в 2012 г. соленость зимой и летом была на 2 ‰ меньше, чем в эти же сезоны 2007 г. Линейный тренд солености был отрицательный. Температура зимой была сравнима с 2007 г., а летом 2012 г. была несколько ниже.

Таким образом, как в Канадской котловине, так и в центральной части Евразийского суббассейна наблюдается тенденция распреснения и похолодания поверхностного слоя океана. При этом соленость от зимы 2007 г. к зиме 2012 г. в центральной

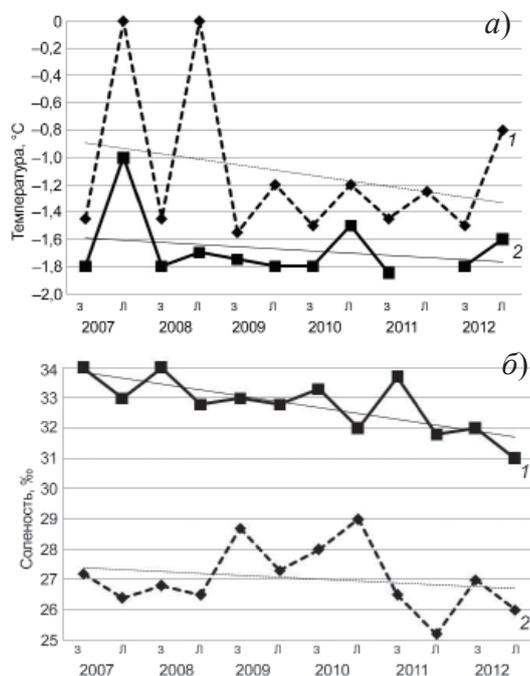


Рис. 7. Изменения температуры (а) и солености (б) в слое 5–10 м в точке 76° 50' с.ш. 144° 00' з.д. Амеразийского (1) и в точке 86° 40' с.ш. 110° 00' в.д. Евразийского (2) суббассейнов от 2007 г. к 2012 г. Индексы «З» и «Л» соответствуют зиме и лету.

части Евразийского суббассейна уменьшилась на 2 ‰, прежде всего из-за миграции фронтального раздела в этой области. В Канадской котловине соленость уменьшилась на 0,5 ‰.

Обратим внимание на то, что разность между соленостью в точке Евразийского суббассейна и соленостью в точке Амеразийского изменилась от 6,8 ‰ зимой 2007 г. до 5,0 ‰ зимой 2012 г., т.е. разность величин солености между точками в Евразийском и Амеразийском суббассейнах уменьшился на 1,8 ‰.

Нами выполнены оценки содержания пресных вод в целом для Евразийского и Амеразийского суббассейнов летом 2007 и 2012 гг., а также средней солености и средней толщины чаши океана, содержащей морскую воду с соленостью меньше 34,8 ‰. Содержание пресных вод рассчитывалось относительно солености 34,8 ‰. Как видим из табл. 1 (колонка 1), объем пресных вод за пять лет в Амеразийском суббассейне уменьшился. Причем это произошло вследствие увеличения солености в слое воды с соленостью более 34,8 ‰ (табл. 1, колонка 2) и уменьшения толщины этого слоя (табл. 1, колонка 3).

В Евразийском суббассейне наблюдалась противоположная картина. Благодаря уменьшению средней солености и увеличению толщины слоя произошло значительное увеличение объема пресных вод (табл. 1, колонка 2).

Приведенные графики на рис. 7 и оценки солености в табл. 1 демонстрируют тенденцию к уменьшению контраста солености между Евразийским и Амеразийским суббассейнами. Последнее может привести к ослаблению геострофической части

Таблица 1

**Разность содержания пресных вод, средней солености и толщины чаши, содержащей воду меньше 34,8 ‰, между 2012 и 2007 гг. для Американо- и Евразийского суббассейнов**

Суббассейн	Разность характеристик между 2012 и 2007 гг.		
	Объем пресных вод, км <sup>3</sup>	Средняя для чаши соленость, ‰	Средняя толщина чаши, м
Американо-евразийский	-7207	0,002	-4,0
Евразийский	19934	-0,099	6,6

Трансарктического течения и, возможно, к расширению области антициклонического круговорота в Канадской котловине.

С точки зрения исторической ретроспективы представляют интерес оценки изменения состояния поверхностного слоя вод в центре антициклонического круговорота в Канадской котловине за последние 60 лет. Нами были проанализированы данные по температуре и солености воды в точке с координатами 75° с.ш., 145° з.д. Результаты не позволили получить непрерывный ряд, но, как видно из рис. 8, полиномиальные линии тренда позволяют судить о тенденциях изменения температуры и солености. Начиная с 90-х годов прошлого века произошло резкое уменьшение солености: от 30–31 ‰ до 26–27 ‰ для зимнего периода и от 29–31 ‰ до 24–25 ‰ для летнего. Т.е. соленость изменилась примерно на 4 ‰ зимой и 5–6 ‰ летом. Различие масштабов изменений зимой и летом свидетельствует о возросшей амплитуде сезонного хода, связанного с таянием и нарастанием ледяного покрова: более интенсивное таяние

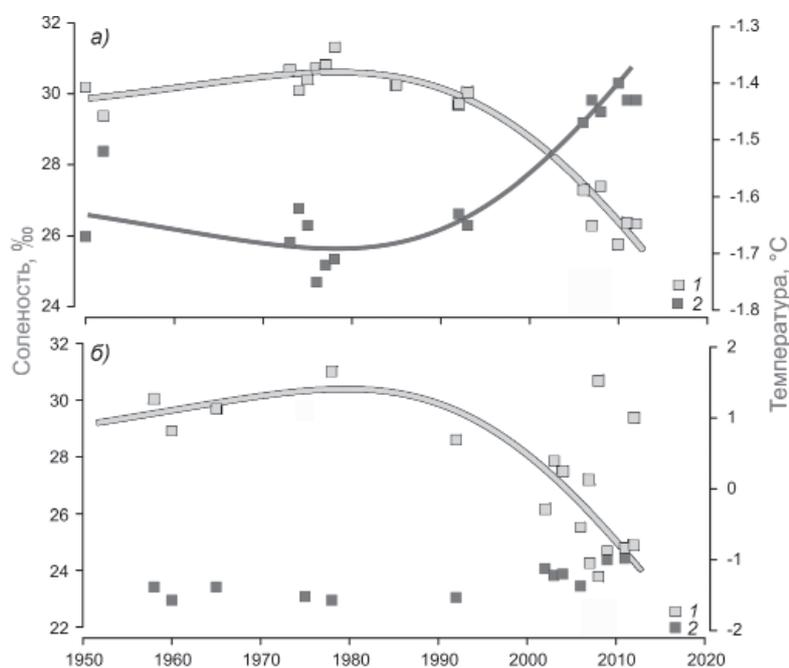


Рис. 8. Временная изменчивость температуры (2) и солености (1) в точке с координатами 75° с.ш., 145° з.д. в зимний (а) и летний (б) периоды.

льда начиная с 1990-х годов привело к более значительному распреснению верхнего слоя в летний период. Это обстоятельство наглядно объясняется тем, что в последние годы большая часть моря Бофорта летом оказывается свободной ото льда, ежегодное полное стаивание которого приводит к существенному уменьшению солёности поверхностного слоя летом и, следовательно, увеличению годовой амплитуды содержания пресных вод.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Температура поверхностного слоя вод Арктического бассейна СЛО в 2012 г. была значительно выше климатической нормы. Летом зоны высоких температур воды до 4 °С и выше наблюдались в морях Бофорта, Чукотском, Лаптевых и Карском. При этом наибольшее превышение температуры над средними многолетними значениями отмечалось в Карском море, где аномалия температуры достигала 3–6 °С.

2. В распределении солёности воды наблюдалось, как и в предыдущие годы, распреснение поверхностного слоя в Амеразийском суббассейне и осолонение в Евразийском суббассейне. При этом наименьшие значения солёности были зафиксированы в Канадской котловине, где отрицательные аномалии солёности летом составляли порядка –4 ‰. В Евразийском суббассейне слабое осолонение поверхностного слоя наблюдалось на всей акватории, а в морях Карское и Лаптевых солёность поверхностного слоя характеризовалась большими положительными аномалиями до 5 ‰.

3. Дипольная структура поля аномалий поверхностной солёности, наблюдаемая с 2007 г. и выраженная в больших отрицательных аномалиях в Амеразийском суббассейне и незначительных положительных аномалиях в Евразийском, в 2012 г. претерпела некоторые изменения. Аномалия в Амеразийском секторе сохранила знак, хотя и уменьшилась с примерно 5 ‰ до 4 ‰. Области положительных значений аномалии в Евразийском суббассейне существенно сократились.

4. От 2007 к 2013 г. наблюдается тенденция к уменьшению контраста солёности между Евразийским и Амеразийским суббассейнами. Последнее может привести, вероятно, к ослаблению геострофической части Трансарктического течения и к расширению области антициклонического круговорота в Канадской котловине.

5. В центре антициклонического круговорота в Канадской котловине за последние 60 лет наблюдаются существенные изменения. Начиная с 90-х годов прошлого века произошло резкое уменьшение солёности: от 30–31 ‰ до 26–27 ‰ для зимнего периода и от 29–31 ‰ до 24–25 ‰ для летнего. Т.е. солёность изменилась примерно на 4 ‰ зимой и 5–6 ‰ летом. Различие масштабов изменений зимой и летом свидетельствует о возросшей амплитуде сезонного хода, связанного с таянием и нарастанием ледяного покрова: более интенсивное таяние льда начиная с 1990-х годов привело к более значительному распреснению верхнего слоя в летний период.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. 2011 / Под ред. д-ра геогр. наук, проф. И.Е.Фролова. СПб.: ААНИИ, 2012. 114 с. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2011.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2011.pdf) [дата обращения 11.11.2013]

Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом Океане. 2012 / Под ред. д-ра геогр. наук, проф. И.Е.Фролова. СПб.: ААНИИ, 2013. 124 с. URL: [http://www.aari.ru/resources/m0035/gm\\_review\\_2012.pdf](http://www.aari.ru/resources/m0035/gm_review_2012.pdf) [дата обращения 11.11.2013]

Фролов И.Е., Ашик И.М., Кассенс Х., Поляков И.В., Процутинский А.Ю., Соколов В.Т., Тимохов Л.А. Аномальные изменения термохалинной структуры Северного Ледовитого океана // ДАН. 2009. Т. 429. № 5. С. 688–690.

Polyakov I.V., Beszczynska A., Carmack E.C., Dmitrenko I.A., Fahrbach E., Frolov I.E., Gerdes R., 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. Vol. 32. P. 1–4. L17605, doi:10.1029/2005GL0237402005.

Timokhov L., Ashik I., Dmitrenko I., Hoelemann J., Kassens H., Kirillov S., Polyakov I., Sokolov V. Extreme changes of the Arctic Ocean during and after IPY 2007/2008 // Polarforschug. 2011. Vol. 81 (2). P. 85–102. (erschienen 2012).

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.

L.A.TIMOKHOV, I.M.ASHIK, S.A.KIRILLOV, V.YU.KARPIY, N.V.LEBEDEV, V.T.SOKOLOV

## THE TERMOHALINE STATE OF SURFACE LAYER IN THE ARCTIC OCEAN IN 2012 AND THE TENDENCIES OF OBSERVED CHANGES

*The termohaline state of the Arctic Ocean and seas in 2012 is discussed in the article based on data of oceanographic measurements. The positive anomalies of surface layer temperature and negative anomalies of salinity were observed on considerable part of the Canadian Basin during summer 2012. Along the continental slope of Eurasian Basin from the Fram strait and to the Laptev Sea more saline waters are evident in the surface layer while temperatures are within the mean climatic range excepting the area near the Fram strait. The dipolar structure of salinity anomaly spatial distribution over the Arctic is observed since 2007 and manifest the large negative anomalies in the Canadian Basin and insignificant positive anomalies in the Eurasian Basin. These dipolar anomalies remain in 2012 but underwent some changes: a tendency to salinity contrast decreasing between Eurasian and Canadian Basins is observed. The most essential changes occurred in the central part of Beaufort Gyre (Canadian Basin) during last 60 years are observed. The abrupt salinity decrease from 90th of last century to 2012 is found both for winter (from 30–31 ‰ to 26–27 ‰) and summer (from 29–31‰ to 24–25 ‰) periods.*

*Keywords:* Arctic Ocean, oceanic surface layer, anomaly of surface layer temperature and salinity, tendency of changes, Eurasian basin, Canadian basin.