

## ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА В АНОМАЛЬНОЕ ЛЕТО 2007 г.

д-р физ.-мат. наук Л.А.ТИМОХОВ,  
инж. 1-й кат. Е.А.ЧЕРНЯВСКАЯ

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

*По данным океанографических наблюдений летом 2007 г. выполнено описание состояния поверхностного слоя Арктического бассейна (АБ) и прилегающих арктических морей (АМ). Выделено три типа наблюдавшихся вертикальных профилей температуры и солёности в верхнем слое океан, и приведена карта их распределения летом 2007 г. Выполнены оценки характеристик поверхностного слоя — толщины слоя, средних температуры и солёности, частоты Вьяйсяля—Брента, и построены карты их пространственного распределения. Сравнительный анализ с историческими данными показывает, что летом 2007 г. характеристики верхнего слоя АБ и АМ претерпели значительные изменения.*

*Ключевые слова:* Арктический бассейн, поверхностный слой, типы профилей температуры и солёности, частота Вьяйсяля—Брента, толщина перемешанного слоя.

### ВВЕДЕНИЕ

Поверхностный слой Северного Ледовитого океана (СЛО) является самой динамичной и изменчивой его частью и располагается от поверхности океана до глубины примерно 10—40 м летом и 25—100 м зимой [3, 9]. Главной возбуждающей силой течений и турбулентных процессов в слое, который располагается непосредственно под нижней поверхностью дрейфующих льдов, является воздействие ветра через лед путем касательных напряжений. Роль приливов в динамике поверхностного слоя СЛО представляется менее значимой по сравнению с атмосферным воздействием. Термодинамическое состояние и степень распреснения и осолонения поверхностного слоя напрямую зависят от атмосферных процессов. Летние потоки тепла от атмосферы к поверхности льда вызывают его таяние и прогрев верхнего слоя. Приток пресных вод за счет таяния льда, за счет жидких атмосферных осадков и материкового стока является причиной распреснения поверхностного слоя, в результате чего происходит его обмеление. Зимой адвекция холода вызывает рост льда, осолонение верхнего слоя за счет освобождения солей при ледообразовании и понижение температуры воды до точки замерзания при наблюдаемой величине солёности, возникновение зимней конвекции и, как следствие, увеличение толщины поверхностного слоя. Несомненно, на распределение характеристик поверхностного слоя, особенно его солёности, оказывают влияние горизонтальная адвекция вод и интенсивность потоков соли и тепла от нижележащих слоев. Роль поверхностного слоя заключается в том, что вместе с ледяным покровом он является пограничным слоем, через который осуществляется взаимодействие атмосферы и океана в высоких широтах Земли. Поэтому состояние поверхностного слоя СЛО является важным показателем, который, с одной стороны, характеризует степень реакции океана на атмосферное воздействие, а с другой стороны, служит интегральным показателем направленности климатической изменчивости системы океан—атмосфера.

Первая систематизация сведений о поверхностном слое СЛО в зимний период была выполнена Трешниковым [8]. На основе данных высокоширотных воздушных

экспедиций он составил карту средней солености в слое 0–25 м для зимнего периода и объяснил причины пространственной неоднородности поля солености в АБ.

Типизация вертикальных профилей температуры и солености верхнего слоя (охватывающего поверхностную и промежуточную водные массы [9]) в АБ для зимнего периода была выполнена Блиновым [1]. Для температуры он выделил три типа. Вертикальный профиль температуры евразийского типа имеет лишь один положительный экстремум, обусловленный стрежнем атлантических вод [9]. Арктический тип имеет два экстремума: верхний отрицательный экстремум связан с подповерхностным холодным слоем, нижний положительный – ассоциируется со стрежнем атлантических вод. Амеразийский тип стратификации имеет три экстремума: положительный верхний экстремум обусловлен наличием летних тихоокеанских вод, отрицательный промежуточный экстремум связан с залеганием зимних тихоокеанских вод и положительный нижний – ассоциируется с ядром теплых атлантических вод.

Для солености и плотности Блиновым были выделены однослойный тип стратификации, имеющий один слой, отделяющийся от нижерасположенного слоя максимальным положительным вертикальным градиентом, двух- и многослойный типы, отличающиеся соответственно двумя или более слоями, отделяющимися друг от друга границами раздела с наибольшими положительными вертикальными градиентами.

Волков и Лукин [2] выполнили типизацию гидрологических структур в зависимости от вида вертикального распределения устойчивости вод в зимний период. Авторами были выделены два типа стратификации: с одним ярко выраженным максимумом устойчивости (I тип) и с двумя максимумами (II тип). Верхний максимум устойчивости преобладает; он формируется на границе раздела поверхностной арктической воды и подстилающей ее промежуточной водной массы.

Никифоров [4] описал шесть типов строения вод деятельного слоя АБ, встречающихся в зимний период. Автор в своей книге также приводит карты распределения этих типов по акватории АБ для зимнего периода 1973 и 1974 гг. При этом было отмечено, что картина распределения типов в пространстве от года к году не сохраняется и, возможно, осуществляется переход от одного типа распределения к другому через переходное состояние, складывающееся вследствие процессов, определяющих перестройку термохалинных полей деятельного слоя.

Вместе с тем для летнего периода структура поверхностного слоя исследована слабо. В работе [3] приводится анализ пространственного распределения толщин верхнего перемешанного слоя (ВПС) и средних величин солености, рассчитанных по десятилетиям. Установлено, что сама толщина и перепады толщин ВПС в летний период меньше, чем в зимний период. В пространственном распределении толщин, как для летнего, так и для зимнего сезонов, прослеживаются следующие закономерности: (а) наименьшие толщины ВПС наблюдаются вдоль побережья Азии и Аляски, (б) толщины ВПС увеличиваются от берегов к центральной части АБ, причем в диапазоне 30–50 м часто наблюдается сгущение изолиний толщин, которые отделяют обширные однородные зоны, (в) в обширных однородных зонах наблюдаются локальные зоны размером 300–500 км более глубокого или мелкого ВПС.

В настоящей работе приводятся результаты анализа структуры поверхностного слоя АБ, а также оценки межгодовой изменчивости летних вертикальных профилей температуры и солености для трех выделенных областей океана. Летний сезон 2007 г. был выбран, прежде всего, потому, что для этого периода был собран большой массив океанографических данных, полученных в рамках программы Международного полярного года (МПГ) 2007/08 [6]. Сформированная база данных позволяет выполнить анализ состояния АБ и АМ. Кроме того, лето 2007 г. оказалось уникальным не только с точки зрения обеспеченности океанографической инфор-

мацией, но и по гидрометеорологическим условиям. Атмосферные процессы в Арктике протекали весьма необычно и в значительной мере повлияли на сезонный ход гидрологических процессов и формирование структуры поверхностного слоя.

В тихоокеанском секторе Арктики с июня по сентябрь наблюдались аномально высокие температуры воздуха, обусловленные тем, что направление ветра на побережье от Берингова пролива до Новосибирских островов было преимущественно южным. Вследствие этого происходило интенсивное таяние льда и быстрое отступление кромки плавучих льдов на север. Ледовитость Американо-Азиатского суббассейна уменьшилась почти вдвое, площадь дрейфующих льдов сократилась до величины, которая ни разу не наблюдалась за весь исторический период наблюдений [6]. Влияние этих явлений на состояние поверхностного слоя и составляет предмет настоящего исследования.

### МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

В ходе экспедиционных работ, проведенных в АБ и АМ в 2007 г. российскими и международными экспедициями «АРКТИКА-2007», «АВЛАП/НАБОС-2007», «БАРКАЛАВ-2007/ТРАНСДРИФТ-ХП», были получены данные STD-наблюдений более 500 станций. Поскольку основной объем океанографических наблюдений был выполнен в летний и летне-осенний периоды (июль–октябрь), то для наиболее полной характеристики термохалинного состояния интересующей нас поверхностной арктической водной массы, простирающейся в среднем до глубины 50 м [8, 9], были выбраны станции, сделанные в августе и сентябре (всего 231 станция), охватывающие по площади значительную часть АБ. Схема расположения станций приведена на рис. 1.

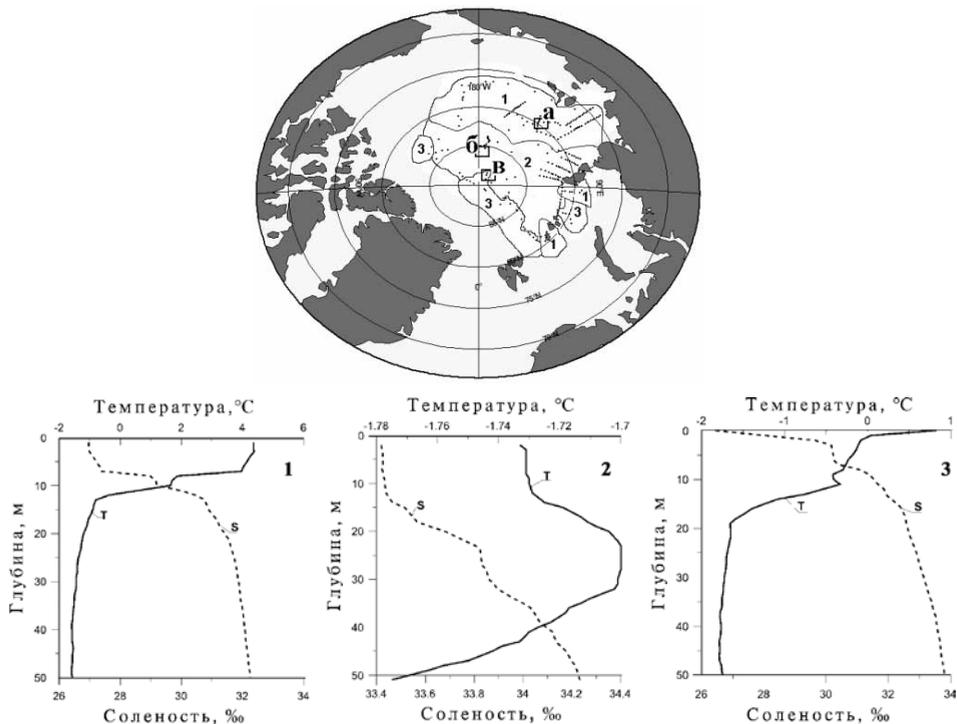


Рис. 1. Типичные профили солёности и температуры и их распределение на акватории СЛО в 2007 г.: 1 – тип 1, 2 – тип 2, 3 – тип 3. Точками указано положение станций. Данные в квадратах «а», «б» и «в» используются для анализа межгодовой изменчивости температуры и солёности верхнего слоя

Методом исследования было построение вертикальных профилей температуры, солености и плотности воды, выполнение классификации вертикальных профилей, вычисление характеристик поверхностного слоя АБ для летнего периода 2007 г.

Вертикальные профили температуры и солености строились до глубины 50 м с тем, чтобы составить представление не только о ВПС, но и его подложке – верхнем халоклине. В качестве характеристик поверхностного слоя использовались: тип вертикальных профилей, толщина слоя и средние значения температуры и солености. Толщина слоя определялась по глубине залегания максимального значения второй производной плотности воды по вертикальной координате, т.е. по точке наибольшего перегиба профиля плотности воды. Поскольку в АБ изменчивость плотности воды определяется в значительной степени изменчивостью солености, то вместо вертикального профиля плотности для анализа использовался профиль солености.

Состояние верхнего халоклина помогает понять структурообразующие механизмы поверхностного слоя и объяснить этапы формирования того или иного типа вертикального профиля. Поэтому дополнительно были рассчитаны частоты Вьяйсяля–Брента и глубина залегания максимального градиента солености воды.

Следует отметить, что определение параметра «толщина слоя» вызывает затруднения для определенных типов вертикальной стратификации поверхностного слоя. В работах [1, 4], например, приводится тип вертикального профиля, когда скачок плотности начинается с поверхности. Поэтому прежде всего необходимо было произвести классификацию наблюдавшихся вертикальных профилей температуры и солености.

#### **КЛАССИФИКАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ**

Анализ графиков распределения температуры и солености в верхнем 50-метровом слое позволил выделить три преобладающих типа профилей. На рис. 1 приведены типичные профили солености и температуры и их распределение на акватории.

Тип 1 характеризуется высокой температурой на поверхности (от 0 до +6 °С), соленостью в пределах от 18 до 27 ‰ и наличием перемешанного слоя толщиной порядка 10 м. Слой скачка плотности располагался на глубинах 15–20 м. Такие профили встречались наиболее часто, на 91 станции, что составляет 39,4 % от общего количества рассмотренных случаев, и наблюдались в море Лаптевых, Восточно-Сибирском море и прилегающей к ним части АБ.

Для типа 2 характерна более низкая поверхностная температура (от –1,5 до 0 °С), более высокая соленость (от 25 до 33,5 ‰) и более развитый перемешанный слой (до 30 м). Максимальные градиенты плотности наблюдались в слое 25–50 м. Область распространения этого типа профилей занимала почти всю центральную часть Арктического бассейна. По количеству случаев этот тип был на втором месте, отмечался на 89 станциях, что составляет 38,5 % от общего количества профилей.

У профилей 3-го типа отмечалось отсутствие перемешанного слоя или крайне слабое его развитие (около 2–3 м). При этом пикноклин находился на глубине 1–15 м. Температура на поверхности менялась в пределах от –1,5 до +3,4 °С, а соленость от 10 до 30 ‰. Этот тип профилей встречался в районе Северного полюса и в восточной части Евразийского суббассейна. К третьему типу относились профили на 51 станции, или 22 % от общего числа исследованных профилей. Он был самый малочисленный.

Приведенное выше описание типов вертикальных профилей, встречавшихся летом 2007 г. в АБ и прилегающих северных частях АМ, дает общее представление об изменчивости поверхностного слоя как по толщине, так и по термохалинным характеристикам.

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

Пространственное распределение вычисленных значений средней температуры, средней солености, толщин перемешанного слоя и частот Вьяйсяля–Брента при-

ведены на рис. 2. Прежде всего обращает на себя внимание различие характеристик в Евразийском и Американо-Азиатском суббассейнах. Рассмотрим распределение характеристик поверхностного слоя отдельно в каждом суббассейне и прилегающих к ним АМ.

### Евразийский суббассейн и прилегающие моря

Летом 2007 г. в районе между Землей Франца-Иосифа и Северной Землей перемешанный слой был развит слабо и в среднем толщина его была равна 6 м, только у западных берегов Северной Земли толщина слоя достигала 11–13 м. Пикноклин здесь поднимался до горизонта 8–20 м. Средняя температура составляла  $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а у берегов Северной Земли – около  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Средняя солёность менялась в пределах 32,8–33,8 ‰, при этом солёность у берегов Северной Земли была меньше и изменялась от 30,5 до 31,9 ‰. В этом районе в 2007 г. наблюдалось осолонение верхнего слоя, поэтому значения устойчивости здесь были не очень большие и в среднем равнялись  $0,067\text{ c}^{-1}$ . По сравнению с характерными величинами частот Вьяйсяля–Брента, приведенными в работе [7], рассчитанные нами непосредственно по STD-данным частоты для Карского моря оказались на  $0,03\text{ c}^{-1}$  больше. Заметим, что в работе [7] в качестве исходных использовались гидрологические данные атласов NOAA и ААНИИ с достаточно крупной пространственной сеткой. Поэтому полученные нами более высокие оценки частоты Вьяйсяля–Брента характеризуют синоптический масштаб изменчивости параметра устойчивости, а не климатический, каковой приведен в работе [7].

В области Северной полюса перемешанный слой отсутствовал, пикноклин был расположен близко к поверхности на глубинах 2–5 м. Средняя температура в перемешанном слое изменялась от  $-0,4$  до  $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а средняя солёность – от 24 до 29,5 ‰. Устойчивость слоев воды здесь была довольно большая, величина частоты Вьяйсяля–Брента достигала  $0,13\text{ c}^{-1}$ .

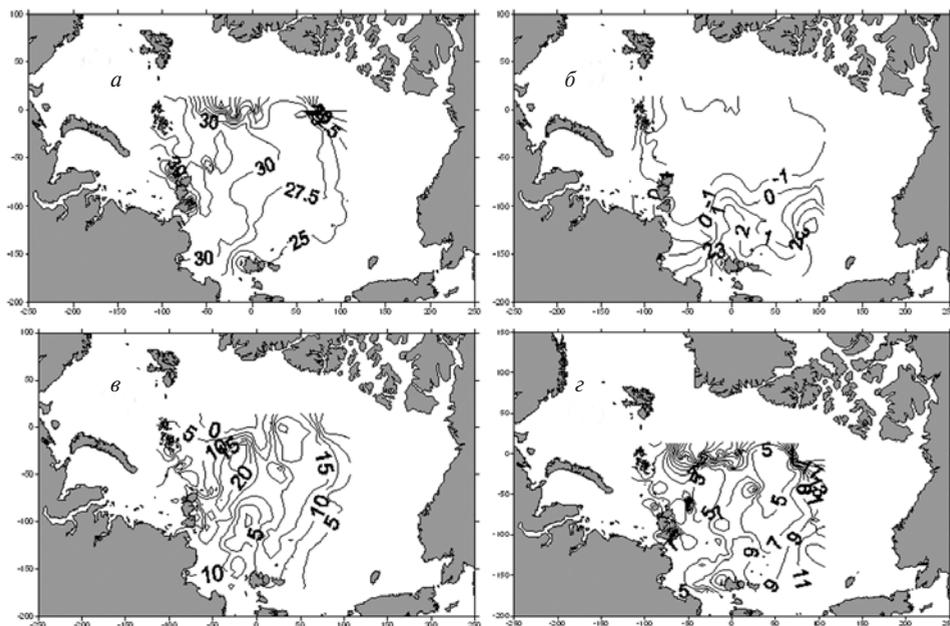


Рис. 2. Пространственное распределение средней солёности (а), средней температуры перемешанного слоя (б), толщины перемешанного слоя (в) и частот Вьяйсяля–Брента (г) в августе–сентябре 2007 г.

Значения частот Вьяйсяля–Брента увеличены в 100 раз

В районе между Северным полюсом и Землей Франца-Иосифа перемешанный слой также практически отсутствовал и лишь вблизи островов мог достигать 4 м. В этом районе, в направлении с севера на юг, пикноклин заглублялся с 2–4 м до 5 м, при этом устойчивость значительно уменьшалась (с  $0,2 \text{ с}^{-1}$  до  $0,045 \text{ с}^{-1}$ ), что было связано с увеличением средней солености с 22 до  $33,5 \text{ ‰}$  и средней температуры с  $-1,5$  до  $-0,6 \text{ °C}$ .

Отметим, что в целом для центральной части АБ среднее значение частоты Вьяйсяля–Брента получилось равным  $0,09 \text{ с}^{-1}$ , что на  $0,06$  больше значения приведенного в [7]. Такая большая величина устойчивости по сравнению с  $0,03 \text{ с}^{-1}$ , приведенной для АБ в работе [7], оказалась следствием, во-первых, расчетов по синоптическим данным, во-вторых, особым случаем структуры халоклина, который характерен для редко встречающегося третьего типа вертикальных профилей солености и температуры.

В западной части моря Лаптевых, вблизи Северной Земли, перемешанный слой был хорошо развит, толщина его была равна в среднем 17 м, а на некоторых станциях была более 30 м. Пикноклин находился на глубинах в пределах 17–40 м. Значение частоты Вьяйсяля–Брента составляло порядка  $0,05 \text{ с}^{-1}$ . Средняя температура перемешанного слоя в этом районе была отрицательной в пределах от  $-1,6$  до  $-1,7 \text{ °C}$ , а средняя соленость – от 32 до  $33 \text{ ‰}$ .

На востоке моря Лаптевых перемешанный слой присутствовал лишь на отдельных станциях, в то время как слой пикноклина располагался на глубине 14–20 м. Средняя температура была положительной и менялась в пределах от  $0 \text{ °C}$  до  $+3 \text{ °C}$ , а средняя соленость – от 27 до  $32 \text{ ‰}$  и возрастала от шельфовой зоны в сторону глубокого океана. Устойчивость здесь была равна  $0,075 \text{ с}^{-1}$ , эта величина практически совпадает с оценкой, приведенной в [7].

#### **Амеразийский суббассейн и прилегающие моря**

В северо-западной части Восточно-Сибирского моря толщина перемешанного слоя составляла 14–17 м, пикноклин располагался на глубине 18–30 м, при этом частота Вьяйсяля–Брента была равна в среднем  $0,077 \text{ с}^{-1}$ . Средняя температура перемешанного слоя менялась в пределах от  $+0,3$  до  $+2,0 \text{ °C}$ , а средняя соленость – от 26 до  $30 \text{ ‰}$ .

В северо-восточной части Восточно-Сибирского моря толщина перемешанного слоя была значительно меньше, в среднем 6 м, и пикноклин здесь поднимался до горизонта 6–10 м, что случается в этом районе очень редко. Устойчивость в слое пикноклина при этом возросла почти в два раза, частота Вьяйсяля–Брента достигала  $0,11 \text{ с}^{-1}$ . Средняя температура перемешанного слоя в этом районе также была положительна и достигала на некоторых станциях  $+4 \text{ °C}$ . Средняя соленость не превышала  $27,2 \text{ ‰}$ . В среднем для Восточно-Сибирского моря рассчитанные нами значения частоты Вьяйсяля–Брента оказались несколько большими, приблизительно на  $0,036 \text{ с}^{-1}$ , по сравнению с приведенными в [7]. Причиной больших значений параметра устойчивости являются два фактора: расчеты выполнялись по данным синоптической съемки, и в рассматриваемый период степень стратифицированности верхнего слоя была больше климатической.

В районе котловины Макарова толщина перемешанного слоя уменьшалась с запада на восток с 16–20 м до 9 м. При этом наблюдалось поднятие пикноклина с глубин 21–27 м до 12–20 м, которое сопровождалось троекратным уменьшением устойчивости в слое пикноклина с  $0,14 \text{ с}^{-1}$  до  $0,045 \text{ с}^{-1}$ . Средняя температура перемешанного слоя несколько повышалась в том же направлении (от  $-1,5$  до  $-1,4 \text{ °C}$ ), так же как и средняя соленость, которая в западной части котловины была равна  $28,5$ – $29,3 \text{ ‰}$ , а в восточной –  $28,9$ – $32,9 \text{ ‰}$ .

#### **КЛИМАТИЧЕСКАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ**

В сравнении с предыдущими десятилетиями, характеристики верхнего слоя АБ претерпели значительные изменения. Так, летом 2007 г. в центральной части

АБ перемешанный слой не превышал 10 м, а в районе Северного полюса и вообще практически отсутствовал, тогда как в 1950–1980-е гг. в этих районах наблюдалась толщина перемешанного слоя 20–40 м [3]. Также в АБ значительно изменилась соленость. В районе Северного полюса последние несколько десятилетий она была равна 31 ‰, а в 2007 г. не превышала 29 ‰. В море Лаптевых, у Новосибирских островов, с 1950-х по 1970-е гг. средняя соленость перемешанного слоя уменьшалась с 29 ‰ до 26 ‰. В 1980-е гг. наблюдалось осолонение этого района и величина солености выросла до 29 ‰, а в 2007 г. она уменьшилась до 28 ‰. Аномалии солености воды для лета 2007 г., вычисленные по отношению к климатическому полю за 1950–1989 гг., в восточной части моря Лаптевых, Восточно-Сибирском море, котловине Макарова и Канадской котловине составили от –2 ‰ до –6 ‰ [6].

Области осолонения сформировались в западной части моря Лаптевых, вдоль материкового склона Северной Земли, а также в северных частях морей Баренцева и Карского. В этих районах соленость перемешанного слоя менялась от 32,5 ‰ до 34 ‰ и отмечались положительные аномалии от 0 до +1 ‰.

Для анализа межгодовой изменчивости были взяты несколько станций, выполненных с помощью STD-зонда во время экспедиций 2004–2007 гг. К сожалению, для полного анализа временной изменчивости верхнего слоя имеющихся данных недостаточно и временной ряд слишком короткий. Поэтому нами приводится оценка изменчивости только для трех районов АБ, в которых выполнялись повторные наблюдения с 2004 по 2007 г. Места расположения этих районов обозначены на рис. 1 буквами «а», «б» и «в».

Сравнительный анализ профилей позволяет сделать следующие выводы. Вертикальные распределения солености в квадратах «а» и «б», а также профили, измеренные в 2005 г. в квадрате «в», подобны, и их можно отнести к типам 1 и 2 (рис. 3 а, б). В профилях выделяется однородный по солености верхний перемешанный слой, который подстигается халоклином (пикноклином). При этом от года к году изменяются толщина перемешанного слоя и толщина халоклина.

Профили солености в квадрате «в» в 2004 и 2007 гг. по вертикальному распределению относятся к типу 3. Этот тип, вероятно, наиболее изменчив и формируется вследствие того, что менее соленые и менее плотные воды натекают на более соленые и более плотные воды, образуя, по терминологии Никифорова, эффект ТАЙЯ [5]. Для типа 3 характерно увеличение солености, начиная с поверхности океана (2007 г., квадрат «в», рис. 3 в) или с глубины около 5 м (2004 г., квадрат «в», рис. 3 в). Под поверхностным халоклином располагается квазиоднородный слой, который подстигается вторым (главным) халоклином на глубине 30–35 м.

Вертикальное распределение температуры в верхнем перемешанном слое близко к однородному, за исключением профиля 2007 г. в квадрате «в». Отличие заключается в том, что для большой группы профилей (2004, 2006 квадрат «а»; 2004, 2005, 2007 квадрат «б»; 2005 квадрат «в») средняя температура изменялась в пределах от –1,7 °С до –1,4 °С, и эту группу можно отнести к типу 2. Средняя температура для профилей 2005 и 2007 гг. в квадрате (а) положительная, и эти профили можно отнести к типу 1. Температурный профиль, как и соленостный профиль, в квадрате (в) для лета 2007 г. относится к типу 3.

Детальный анализ профилей позволяет получить следующие оценки межгодовой изменчивости состояния поверхностного слоя в трех выбранных квадратах.

Для района «а» с 2004 по 2005 г. средняя температура перемешанного слоя выросла почти на 1,3 °С, а средняя соленость уменьшилась более чем на 2 ‰. В 2006 г. термохалинные характеристики верхнего слоя были практически такими же, как и в 2004 г., но в 2007 г. температура значительно выросла (на 3,2 °С). Толщина пе-

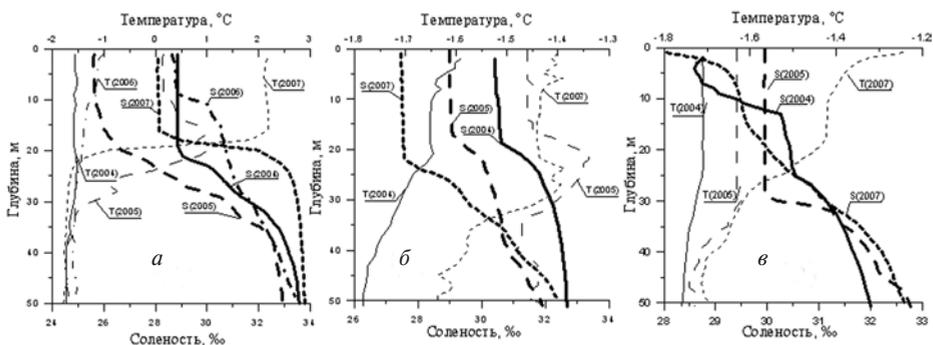


Рис. 3. Межгодовая изменчивость профилей температуры и солёности в районах «а», «б» и «в» соответственно

Положение районов указано на рис. 1

ремешанного слоя также не оставалась постоянной. В период с 2004 по 2006 г. она уменьшилась с 20 м до 10 м, а в 2007 г. снова выросла до 17 м. При этом глубина залегания слоя пикноклина менялась незначительно и оставалась в пределах 15–25 м.

В районе «б» средняя солёность с 2004 г. уменьшилась почти на 3 ‰, в то время как температура выросла на 0,2 °С. Эти изменения способствовали увеличению толщины перемешанного слоя с 9 м в 2004 г. до 22 м в 2007 г. и заглублению пикноклина с 19 м до 24 м.

У Северного полюса (область «в») в 2007 г. также наблюдалось увеличение температуры и уменьшение солёности верхнего слоя по сравнению с предыдущими годами (рис. 3). Средняя температура перемешанного слоя росла от года к году и к 2007 г. повысилась на 0,4 °С по сравнению с 2004 г. Средняя солёность в 2004 г. была 29 ‰, в 2005 г. она несколько повышалась, а в 2007 г. уменьшилась на 1,6 ‰. При этом заметно изменились и сами профили. Так, толщина перемешанного слоя в 2005 г. достигала 29 м, а в 2007 г. он в этом районе практически отсутствовал.

## ВЫВОДЫ

Летом 2007 г. хорошо развитый перемешанный слой наблюдался в районе Северной Земли, в северной части моря Лаптевых и в районе котловины Макарова. Среднее значение толщины перемешанного слоя в этих областях АБ составляло 15–20 м, что меньше климатических значений на 5–10 м. На остальной акватории бассейна толщина перемешанного слоя была небольшой или халоклин начинался с поверхности океана. При этом устойчивость в слое пикноклина уменьшалась от полюса в направлении сибирского шельфа и с запада на восток.

Выделенные три типа вертикального распределения температуры и солёности для лета 2007 г. наблюдались и ранее, как следует из исторических данных. Но тип 3, для которого халоклин и термоклин начинаются с поверхности океана, в 2007 г. отмечался на большей, чем в предыдущие годы, акватории, и значения поверхностных температур были аномально высокими, а величины поверхностной солёности — аномально малыми.

В целом в верхнем 50-метровом слое летом в 2007 г. произошли значительные изменения по сравнению с предыдущими годами. Прежде всего это касается температуры перемешанного слоя, которая практически повсеместно была выше, причем в некоторых районах АБ положительная аномалия температуры превышала +3,5 °С. Поле поверхностной солёности также отличалось уникальной структурой, ранее не наблюдавшейся за весь исторический период наблюдений. В Амеразийском суббассейне летом 2007 г. сформировались большие отрицательные ано-

малии солености, достигавшие  $-5\text{‰}$ . В то же время на большей части Евразийского суббассейна отмечалось небольшое осолонение с положительными аномалиями солености в пределах  $+1\text{‰}$ . При этом главная поверхностная фронтальная зона в 2007 г. сместилась к западу и простиралась от восточной части моря Лаптевых к Северному полюсу и далее к Гренландии. Феномен лета 2007 г. ставит ряд задач, прежде всего, продолжения мониторинга дальнейшей эволюции термохалинных полей в АБ и исследования влияния летнего состояния океана на развитие последующих зимних океанологических и метеорологических процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов Н.И. Типизация стратификации гидрофизических полей в Арктическом бассейне // Труды ААНИИ. 1985. Т. 389. С. 6–11.
2. Волков В.А., Лукин В.В. Водные массы и стратификация вод Арктического бассейна // Труды ААНИИ. 1985. Т. 398. С. 30–39.
3. Гарманов А.Л., Колтышев А.Е. и др. Верхний перемешанный слой в Арктическом бассейне // Труды ААНИИ. 2008. Т. 448. С. 149–189.
4. Никифоров Е.Г. Стеродинамическая система Северного Ледовитого океана. СПб.: ААНИИ, 2006. 274 с.
5. Никифоров Е.Г. Эффект ТАЙЯ // Проблемы Арктики и Антарктики. 1998. Вып. 71. С. 184–191.
6. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане 2007 / Под ред. И.Е.Фролова. СПб.: Ротапринт ГНЦ РФ ААНИИ, 2008. 80 с.
7. Полухин Н.В., Талипова Т.Г. и др. Кинематические характеристики поля высокочастотных внутренних волн в Северном Ледовитом океане // Океанология. 2003. Т. 43. № 3. С. 356–367.
8. Трешников А.Ф. Поверхностные воды в Арктическом бассейне // Проблемы Арктики. 1959. Вып. 7. С. 5–14.
9. Шишов П.П. Научные результаты дрейфа станции «Северный полюс» // Общее собрание АН СССР 14–17 февраля 1944 г. М.; Л.: Изд. АН СССР, 1944. С. 110–140.

L.A.TIMOKHOV, E.A.CHERNYAVSKAYA

#### FEATURES OF THE ARCTIC BASIN SURFACE LAYER AT ANOMALOUS SUMMER OF 2007

*The description of the Arctic Ocean surface layer state was done using oceanographic observation data for summer 2007. The observable vertical profiles of temperature and salinity in the ocean surface layer were divided into three types and their distribution map for summer 2007 was generated. The surface layer characteristic estimations, including mixed layer thickness, mixed layer mean temperature, mixed layer mean salinity and Brunt–Vaisala frequencies were calculated and spatial distribution maps were plotted. The comparative analysis with historical data shows that the surface layer characteristic of the Arctic Basin and the bordering Arctic Seas underwent considerable changes.*

*Keywords:* Arctic Ocean, surface layer, profile types of temperature and salinity, Brunt–Vaisala frequency, mixed layer thickness.