Министерство природных ресурсов и экологии РФ Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды



Государственный научный центр РФ Арктический и антарктический научноисследовательский институт

# **ОБЗОР**

гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане

### III квартал 2013











### СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ
1 Метеорологические условия Северной полярной области в июле-сентябре 2013г 4
1.1 Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного
полушария4
1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области 14
2. Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях в июле-сентябре 2013
года
3. Гидрологические и гидрохимические условия в Северном ледовитом океане в июле-сентябре
2013 г
3.1. Термохалинные условия арктических морей
3.2. Гидрохимические условия
3.2.1 Предварительные результаты гидрохимических наблюдений в Карском море 47
3.2.2 Предварительные результаты гидрохимических наблюдений в море Лаптевых 51
3.2.3 Предварительные результаты гидрохимических наблюдений в СЛО 54
3.3. Уровень арктических морей 59
3.4 Ветровое волнение на акватории арктических морей



#### введение

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в третьем квартале (июлесентябре) 2013 года. Фактическая информация для составления обзора получена по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, дрейфующей станции «Северный–Полюс-40», проектов Всемирной Метеорологической Организации и экспедиционных исследований, проводимых в рамках национальных программ и международных проектов российскими и зарубежными организациями.

Обзор продолжает серию ежеквартальных обзоров, описывающих развитие метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в прошедшем квартале текущего года.

В составлении обзора принимали участие ведущие специалисты ФГБУ «ААНИИ».

Метеорологический раздел, посвящен описанию особенностей развития крупномасштабных метеорологических процессов и изменчивости различных метеорологических элементов. В составлении раздела принимали участие специалисты лабораторий метеорологии (ответственный - зав. лаборатории к.г.н. Радионов В.Ф.) и долгосрочных метеорологических прогнозов (ответственный - зав. лаборатории к.г.н. Иванов В.В.).

Ледовый раздел посвящен описанию развития ледяного покрова и особенностям ледовых явлений в океане, арктических морях и устьевых областях основных арктических рек. Основой для такого анализа послужили данные спутникового мониторинга, полярных станций системы Росгидромета, экспедиционные наблюдения на судах и дрейфующих станциях и архивные климатические данные. В составлении раздела принимали участие специалисты отдела ледового режима и прогнозов и Центра ледовой и гидрометеорологической информации (ответственный - зав. лабораторией к.г.н. Юлин А.В., зав. лабораторией к.г.н. Смоляницкий В.М., рук. группы к.т.н. Налимов Ю.В.).

Гидрологический раздел посвящен описанию гидрологических и гидрохимических условия в Северном Ледовитом океане и его морях. В составлении раздела принимали участие специалисты отдела океанологии (ответственный – зав. отделом к.г.н. Ашик И.М.).

Общее руководство и редакция обзора была выполнена директором ФГБУ «ААНИИ» д.г.н., профессором Фроловым И.Е.

Подготовку и оформление обзора осуществлял вед. инженер отдела ледового режима и прогнозов Сороко С.О., м.н.с. Усольцева Е.А.

Обзор предназначен для широкого круга специалистов, занимающихся изучением природной среды Арктики и осуществляющих научную и хозяйственную деятельность в этом регионе.



### 1 Метеорологические условия Северной полярной области в июле-сентябре 2013г.

### 1.1 Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария

В данном разделе приводятся основные результаты мониторинга атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба и метеорологических условий в полярном районе северного полушария за период с июля по сентябрь 2013 г.

Анализ и оценка тенденций развития процессов в третьем квартале проводился с учетом процессов за предшествующий период январь – июнь 2013 г., особенности которого более подробно были представлены ранее.

При анализе и диагнозе крупномасштабных процессов учитывались основные элементы ОЦА: местоположение центра планетарного циркумполярного вихря изобарической поверхности 500 гПа, географическая ориентация планетарной фронтальной зоны, состояние длинных термобарических волн, развитие стационарных циклонов и антициклонов (центров действия атмосферы) и траектории фронтальных циклонов и антициклонов.

Оценка пространственно-временной изменчивости процессов производилась средствами комплексного аэросиноптического анализа термобарических полей в толще тропосферы путем выделения квазиоднородных циркуляционных периодов с однонаправленным развитием крупномасштабных процессов по классификации Г.Я. Вангенгейма – А.А. Гирса. Формы (атлантико-евразийский сектор) и типы (тихоокеано-американском сектор) отражают основные состояния атмосферы в двух секторах северного полушария.

Каждая из форм и типов имеет ряд разновидностей, отражающих возможные варианты перестроек от одного макропроцесса к другому. Разновидности макропроцессов на полушарии имеют значимые различия в направленности крупномасштабных атмосферных процессов, состоянии и пространственной локализации основных центров действия атмосферы. При этом для каждой из разновидностей характерна географическая ориентация основных блокирующих гребней антициклонов, влияющих на более высокоширотные или более низкоширотные по сравнению с нормой траектории циклонов в Арктику в системах исландского и алеутского минимумов.

В результате мониторинга процессов различного пространственно-временного масштаба с июля по сентябрь 2013 г. были выявлены следующие особенности их развития.

Фоновые особенности развития крупномасштабных атмосферных процессов за третий квартал 2013 г. представлены в виде среднемесячных значений числа дней с основными формами и типами циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирса и карт средних полей геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, приземного давления и температуры воздуха и их аномалий.



Таблица.1

### Значения числа дней с формами и типами циркуляции и их отклонения от нормы в период

	Индексы циркуляции атмосферы							
Показатель		Форма		Тип				
	W	С	Е	3	M1	M2		
Число дней	19	21	52	21	34	37		
Аномалия	-16	-5	21	-18	-6	24		

#### июль – сентябрь 2013 г.

В период июль – сентябрь 2013 г. атмосферные процессы в Северной полярной области развивались на аномально повышенной повторяемости в первом секторе процессов восточной (Е) формы циркуляции. Процессы данной формы превысили норму на 21 день и составили 52 дня.

Во втором секторе более высокую повторяемость имели меридиональные процессы типа M<sub>2.</sub> Данные процессы отмечались в 37днях, что выше нормы на 24 дня.

В средней тропосфере на изобарической поверхности 500 гПа основной центр планетарного циркумполярного вихря в третьем квартале по сравнению со вторым кварталом сместился и чаще находился в район Канадского Арктического архипелага.

Под влиянием длинных термобарических волн на периферии высотного полярного вихря от месяца к месяцу происходило изменение его структуры, системы тропосферных фронтов ПВФЗ и траекторий циклонов в системе исландского и алеутского минимумов.

В июле – сентябрь высотные гребни блокирующие западно-восточный перенос воздушных масс в толще тропосферы чаще всего формировались над районами ЕТР. Вследствие этого ВФЗ была смещена к северу и ее ось была ориентирована на приполюсный район Арктики. Карта средних значений геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа за период июль – сентябрь представлена на рис. 1.1.

В приземном поле циклоны Северной Атлантики по сравнению с нормой смещались по высокоширотным траекториям. Наиболее активная циклоническая деятельность отмечалась в районе Гренландского моря, где отрицательные аномалии давления составили более 4 гПа. Фон давления с положительными аномалиями отмечался над северными морями Евразии и восточным сектором Арктики. В среднем за третий квартал 2013 г. положительная аномалия давления в приполюсном районе составила 2 гПа., что на 5 гПа выше, чем во втором квартале данного года. По западной теплой части блокирующих гребней антициклонов в течение трех месяцев отмечалась устойчивая направленность меридиональных воздушных потоков в толще тропосферы с южной составляющей (рис. 1.2).





Рис. 1.1. Поля среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период июль – сентябрь 2013 г.



Рис. 1.2. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) за период июль – сентябрь 2013 г., (гПа)

Фон температуры над полярным районом Арктики в целом согласуется с адвективнодинамическими особенностями развития процессов за рассматриваемый период.

При блокировании западно-восточного переноса воздушных масс гребнями азорского и арктического антициклонов в целом над полярным районом преобладала устойчивая в течение трех месяцев адвекция теплых воздушных масс и формирование над большей частью его положительных аномалии температуры воздуха (рис. 1.3).





Рис. 1.3. Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) за период июль – сентябрь 2013 г., (°С)

Наиболее крупные средние за период значения аномалий температуры воздуха отмечались в районах: севернее Гренландии, Баренцевом и Карском морях. Эти районы Арктики внесли наибольший вклад в формирование в среднем за третий квартал высокого температурного фона полярного района.

В среднем по полярному району аномалия температуры воздуха в третьем квартале составила 1,3 °C, что на 1,4 °C ниже, чем во втором квартале.

Структурные особенности развития атмосферных процессов в третьем квартале 2013 г. проводился по комплексу метеорологических характеристик (форма и тип циркуляции, направление воздушных потоков, давление и температура воздуха и их аномалии) за различные периоды осреднения, как календарные, так и по естественным стадиям перестройки процессов различного временного масштаба.

Анализ процессов показал, что в июле – сентябре 2013 г. выделяется ряд естественных стадий с однонаправленным развитием крупномасштабных атмосферных процессов.

Ход среднемесячных аномалий числа дней с основными формами и типами циркуляции атмосферы в период с июля по сентябрь 2013 г. представлен на рис. 1.4.





W – западная форма, Е – восточная форма, С – меридиональная форма, З – зональный тип, M<sub>1</sub> – первый меридиональный тип, M<sub>1</sub> – второй меридиональный тип

# Рис. 1.4. Ход среднемесячных аномалий числа дней с основными формами и типами циркуляции атмосферы в период июль – сентябрь 2013 г.

Схема развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов в Северном полушарии с июля по сентябрь 2013 г. выглядит следующим образом:

### Июль – $E_{M2+M1} \rightarrow A$ вгуст - $E_{M2+3} \rightarrow C$ ентябрь – $E_{M1+M2}$

Отмеченные тенденции в перестройках крупномасштабные атмосферных процессов нашли свое отражение в изменение метеорологических условий каждого месяца в полярном районе Арктики.

Изменения приземного давления в полярном районе от месяца к месяцу представлены в виде полей среднего приземного давления. На рисунке 1.5 приводится график изменения среднемесячных значений аномалий давления для отдельных секторов района Арктики.





### Рис. 1.5. Значения среднемесячных аномалий давления в июле – сентябре 2013 г. в приполюсном (1), европейском (2), азиатском(3) и американском (4) секторах полярного района Арктики

Наиболее активная циклоническая деятельность отмечалась в июле и августе в западном секторе Арктики и приполюсном районе, где отмечалась тенденция к понижению давления.

В сентябре произошла кардинальная крупномасштабная перестройка в направленности атмосферных процессов. Под влиянием устойчивых гребней азорского и арктического антициклонов выход циклонов в системе исландского минимума в полярный район Арктики был часто блокирован. Фон давления над полярным районом и западным сектором резко повысился от отрицательных до положительных аномалий. Изменения в июле – сентябре 2013 г. среднемесячных значений аномалий температуры по полярному району представлены на рис. 1.6.

Во все месяцы фон температуры в целом над полярным районом оставался аномально высоким. Устойчивая тенденция к повышению температурного фона от июля к сентябрю была обусловлена перестройкой атмосферных процессов и сменой преобладающей адвекции воздушных масс в полярном районе. От июля к сентябрю на фоне роста процессов восточной циркуляции отмечалось усиление меридиональности в направлении воздушных потоков с южной составляющей.





70 - 85° с.ш. в июле - сентябре 2013 гг.

В июле и августе под влиянием теплой части циклонов преобладали устойчивые воздушные потоки юго-западных направлений. В сентябре и усиления арктического антициклона преобладали устойчивые воздушные потоки южных направлений. Фон температуры над полярным районом резко повысился.

Более подробно основные особенности развития атмосферных процессов в июле – сентябре 2013 г. и их влияние на структуру термобарических полей в отдельных районах Арктики представлены ниже.

В июле центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа располагался чаще в канадо-гренландском секторе Арктики. Ось генеральной ложбины ЦПВ была ориентирована на море Лаптевых. Западная Сибирь находилась под влиянием высотного гребня антициклона. Вследствие этого основной западно-восточный воздушный поток в средней тропосфере был направлен на западную Арктику и приполюсный район (рис. 1.7).

В первом (атлантико-евразийском) секторе отмечалась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов разновидностей восточной формы циркуляции. Под влиянием гребня азорского и арктического антициклонов циклоны в системе исландского минимума чаще смещались с запада на восток до акватории Гренландского моря. Фон давления в Гренландском и Баренцевом морях был ниже нормы. Среднемесячные отрицательные аномалии давления достигали значений выше 3 гПа. Воздушные потоки преимущественно юго-западных и южных направлений обусловили устойчивую во времени адвекцию теплых воздушных масс. Фон температуры был значительно выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры (до 5-6 °C) отмечались в районе юго-западной части Карского моря.



Рис. 1.7. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа)



### в июле 2013 г.(гПа)

Во втором (тихоокеано-американском) секторе аномально повышенную повторяемость имели крупномасштабные процессы меридиональных разновидностей типа  $M_1$  и  $M_2$ . Характерной особенностью развития макропроцессов было усиление гребня гавайского антициклона и влияние его на район Аляски и моря Бофорта. Вследствие этого циклоны в системе алеутского минимума не оказывали существенного влияния на полярный район Арктики.

Метеорологические условия в этом секторе Арктики формировались под влиянием гребней арктического и гавайского антициклонов. Фон давления был выше нормы. Воздушные потоки неустойчивые по направлению. Фон температуры был выше нормы на 1-2 °C (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в июле 2013 г., (°С)

В августе основной центр ЦПВ на изобарической поверхности 500 гПа сместился в приполюсный район Арктики. Вследствие этого ВФЗ была смещена к югу (рис. 1.9).

В первом секторе циклоны из Северной Атлантики смещались в Арктику по сравнению с нормой по высокоширотным траекториям. Наблюдалось ослабление арктического антициклона. Фон давления понизился до отрицательных аномалий. Воздушные потоки с преобладанием югозападных и западных направлений сохранили адвекции теплых воздушных масс и понижение температурного фона по сравнению с предыдущим месяцем на 2-3 °C.





Рис. 1.9. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа)

#### в августе 2013 г., гПа

Во втором секторе произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов. Метеорологические условия формировались на фоне ослабления гребня гавайского антициклона и его влияния на район Арктики. Фон давления понизился на 3-4 гПа от положительных до отрицательных аномалий. Фон температуры понизился на 1-2 °C до отрицательных аномалий в Чукотском и Восточно-Сибирском морях (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии

### температуры (справа) в августе 2013 г., (°С)

В сентябре произошла перестройка высотного поля над полярным районом Арктики. При усиление высотного гребня азорского антициклона и влияние его на район Баренцева моря и приполюсный район. Вследствие этого выход циклонов с Северной Атлантики в Арктику был блокирован. Произошло ослабление в интенсивности ЦПВ и смещение его центра в канадский сектор Арктики (рис.1.11).





Рис. 1.11. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа)

#### в сентябре 2013 г., гПа

В первом секторе резко возросло число дней с процессами восточной формы. Под влиянием арктического антициклона циклоны в системе исландского минимума Северной Атлантикой смещались высокоширотными траекториями в район Канады, где отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность. Фон давления над полярным районом и западным сектором резко повысился от отрицательных до положительных аномалий. Фон давления в Арктики значительно повысился по сравнению с августом на 6-7 гПа. Воздушные потоки преимущественно южных направлений обусловили преобладающую адвекцию теплых воздушных масс. Фон температуры был выше нормы на 2-4 °C. Наиболее теплым оказался район Канадского Архипелага, со среднемесячной аномалией температуры более 6 °C.

Во втором секторе отмечалась повышенная повторяемость процессов типа М1.. Фон давления под влиянием циклонов с запада имел тенденцию продолжать понижаться. Фон температуры при повышенной повторяемости восточных потоках был выше нормы на 1-4 °C (рис. 1.12).



Рис. 1.12 Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в сентябре 2013 г., (°С)

Структурные внутри месячные особенности развития и перестроек атмосферных процессов в апреле – июне 2013 г. по элементарным синоптическим процессам (ЭСП) представлены в табл. 1.2. для каждого ЭСП характерна одна форма и тип циркуляции на полушарии с определенной для каждой из них разновидностью барического поля. Эти разновидности отражают географическая ориентация основных блокирующих гребней антициклонов, с которыми сопряжены более высокоширотные или более низкоширотные по сравнению с нормой траектории циклонов в системах исландского и алеутского минимумов.

Изменения от одного ЭСП к другому сопровождаются сменой знака барических полей и направлением преобладающих воздушных потоков в масштабе естественного синоптического района при крупномасштабных перестройках циркуляции атмосферы.

Таблица 1.2

### Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма – Гирса с июля по сентябрь 2013 г. с внутримесячной детализацией атмосферных процессов

	Июль			Август			Сентябрь		
ЭСП	A-E	T-A	ЭСП	A-E	T-A	ЭСП	A-E	T-A	
1-3	Е	M2	1-3	С	M2	1-3	W	M1	
4-6	Е	3	4-7	Е	3	4-6	Е	M1	
7-9	W	M1	8-11	Е	M2	7-9	Е	M2	
10-12	W	M1	12-14	Е	M2	10-13	Е	M2	
13-15	W	M1	15-17	W	3	14-18	E	M1	
16-18	С	M1	18-21	E	3	19-22	Е	3	
19-22	С	M1	22-24	С	3	23-27	С	M2	
23-27	Е	M2	25-27	С	M2	28-30	Е	M1	
28-31	Е	M2	28-31	W	M1				
	W - 9 (-1)	3 - 3 (-7)		W - 7 (-5)	3 - 14 (0)		W - 3 (-10)	3-4 (-11)	
Итого	C - 7 (-4)	M1 - 16 (-2)	Итого	C - 9 (2)	M1 - 4 (-9)	Итого	C - 5 (-3)	M1 - 14 (5)	
	E - 15 (5)	M2 - 12 (9)		E - 15 (3)	M2 - 13 (9)		E - 22 (13)	M2 - 12 (6)	

по элементарным синоптическим процессам

Примечания

1 ЭСП – элементарный синоптический процесс;

2 А-Е – атлантико-европейский сектор полушария;

3 Т-А – тихоокеано-американский сектор полушария.

4 В скобках среднемесячные аномалии числа дней с формами (W, C, E) и типами (3, M1, M2) атмосферной

### циркуляции.

### 1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области

В настоящем разделе приводятся оценки изменения температуры воздуха по районам северной полярной области (СПО) и арктическим морям (рис. 1.13). Исходными данными послужили данные наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступающие с дрейфующих буев МПАБ.





1 – атлантический; 2 – североевропейский; 3 – западносибирский; 4 – восточносибирский; 5 –чукотский; 6 – аляскинский; 7 – канадский

### Рис. 1.13. Сеть метеорологических станций и границы районов в северной полярной области

### Температура воздуха

Основным методом получения пространственно-осредненных по территории северной полярной области и территориям климатических районов аномалий температуры воздуха является метод оптимальной интерполяции и оптимального осреднения. Приводимые оценки аномалий температуры были получены относительно рекомендованного ВМО стандартного периода 1961-1990 гг. В качестве летнего сезона рассматривался период июнь-август.

Оценка аномалий средней температуры воздуха за летний сезон 2013 года по отдельным широтным зонам (60-85, 60-70 и 70-85° с.ш.) представлена в табл. 1.3. В летнем сезоне 2013 г. аномалия температуры воздуха СПО составила 1,4 °C. Лето 2012 г. по рангу теплых лет оказалось вторым теплым летом за период с 1936 г. Предыдущее наиболее теплое лето было в 2012 г. (1,5 °C). Аномалия температуры для широтной зоны 70-85° с.ш. составила 1,1 °C, а для широтной зоны 60-70° с.ш. – 1,5 °C. Прошедший летний сезон для этих широтных зон оказался соответственно девятым и первым по рангу теплых лет за период с 1936 г.



Таблица 1.3

### Аномалия температуры воздуха (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) на территории СПО

Широтная зона, °с.ш.	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
70-85	1,1	9	2012 (2,0)	1963 (-0,7)
60-70	1,5	1	2003 (1,3)	1949 (-0,8)
60-85	1,4	2	2012 (1,5)	1949 (-0,8)

#### и отдельных широтных зон в среднем за летний сезон 2012 г.

Сопоставление значений аномалий летней температуры воздуха в 2013 г. в отдельных климатических районах показало наличие крупных положительных аномалий температуры в западных частях азиатского и американского секторов (рис. 1.14, табл. 1.4). Аномалия температуры в районах Североевропейском и Западносибирском составила 2,8 °C и 1,9 °C соответственно, а в Аляскинском – 1,8 °C. Лето 2013 г. оказалось наиболее теплым в Североевропейском и вторым по рангу теплых лет в Западносибирском и Аляскинском районах.



Рис. 1.14. Значения аномалий средней температуры воздуха летнего сезона 2012 г. На станциях Северной полярной области, °С

Временные ряды пространственно осредненных аномалий средней за летний сезон температуры воздуха для отдельных районов широтной зоны 60-85° с.ш. представлены на рис. 1.15, а для районов арктических морей на рис. 1.16.

Таблица 1.4



# Аномалии (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) средней температуры воздуха в летний сезон 2013 г. для отдельных районов СПО, °С

Климатический район	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год ( <i>аномалия</i> )	Наиболее холодный год ( <i>аномалия</i> )
Атлантический	1,4	5	2003 (1,9)	1965 (-0,7)
Североевропейский	2,8	1	2013 (2,8)	1969 (-1,6)
Западносибирский	1,9	2	1912 (2,7)	1968 (-1,6)
Восточносибирский	1,1	18	2012 (2,0)	1989 (-1,2)
Чукотский	0,7	20	2007 (2,9)	1949 (-1,3)
Аляскинский	1,8	2	2004 (2,9)	1945, 1955 (-1,3)
Канадский	0,5	30	2012 (2,3)	1972 (-1,6)

В районах арктических морей наблюдались преимущественно положительные аномалии температуры. Отрицательные аномалии температуры воздуха имели место на станциях в северной части Канадского района. Наиболее высокие значения аномалий обнаруживались в районе северной части Гренландского и Норвежского морей, и в районах Баренцева и Карского морей. Здесь значения осредненных для этих районов аномалий составили 1,8, 2,8 и 1,5 °C соответственно (табл. 1.5). Для района Баренцева лето 2013 г. оказалось наиболее теплым за весь период наблюдений с 1936 г.

Таблица 1.5

Море, часть климатического района	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год ((аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,8	6	2002 (2,3)	1965 (-0,7)
Баренцево море	2,8	1	2013 (2,8)	1949 (-1,2)
Карское море	1,5	8	2012 (2,7)	1968 (-1,2)
Море Лаптевых	1,2	12	2010 (2,5)	1962 (-1,5)
Восточно-Сибирское море	1,0	17	2007 (3,7)	1949 (-1,6)
Чукотское море	0,7	20	2007 (3,9)	1965 (-1,6)
Море Бофорта	0,6	19	2012 (2,5)	1947 (-1,5)
Северная часть Канадского района	-0,5	69	2011, 2012 (2,7)	1972 (-1,6)

Аномалии температуры воздуха летом 2013 г. на территории севернее 70°с.ш.

Оценка линейного тренда средней температуры воздуха СПО и отдельных широтных зон за летний сезон 1936-2013 гг. показала наличие статистически значимого (на 5% уровне значимости) положительного линейного тренда как для широтных зон к северу и югу от 70° с.ш., так и для СПО в целом (табл. 1.6). Повышение температуры летнего сезона в этих широтных зонах составило 0,94 °C за 78 лет.





Рис. 1.15. Временные ряды аномалий средней за летний сезон температуры воздуха в климатически однородных районах Арктики и в Арктическом регионе в целом, °С



ОБЗОР ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ III КВАРТАЛ 2013



Рис. 1.16. Временные ряды аномалий температуры воздуха над акваториями морей и Канадским архипелагом в весенний сезон, °С



Таблица 1.6

### Коэффициенты линейного тренда средней за летний сезон температуры воздуха отдельных

Dožou uurozvog oovo	1936-2013		1984	-2013	2004-2013			
Район, широтная зона	Bx	D	Bx	D	Bx	D		
Атлантический	0,10	38,0	0,49	73,8	-0,19	32,9		
Североевропейский	0,09	21,1	0,46	50,0	0,59	25,2		
Западносибирский	0,09	25,0	0,34	37,2	1,19	45,6		
Восточносибирский	0,11	31,6	0,65	61,2	1,92	69,2		
Чукотский	0,16	48,2	0,45	48,7	-0,97	37,5		
Аляскинский	0,17	47,5	0,13	15,3	-0,54	15,5		
Канадский	0,11	35,1	0,53	63,2	1,35	54,3		
70-85° с,ш,	0,12	47,2	0,49	75,1	0,58	45,8		
60-70° с,ш,	0,12	52,6	0,39	65,8	0,36	37,5		
60-85° с,ш,	0,12	51,3	0,44	72,3	0,52	52,7		
Примечание: Вх – значение линейного тренда в °С/10 лет; D – вклад тренда в полную								

#### районов за весь период наблюдений и за последние 30 и 10 лет

Для последнего тридцатилетнего периода 1984-2013 гг. в СПО и в отдельных широтных зонах в летней температуре характерны статистически значимые (на 5% уровне значимости) положительные тренды. Повышение температуры в целом по региону составляет 1,32 °C за 30 лет. В отдельных районах наиболее высокие значения тренда наблюдаются в изменениях температуры Восточносибирского и Канадского районов. Значение линейного тренда средней за летний сезон температуры воздуха в этих районах составляет около 1,95 и 1,59 °C/30 лет соответственно.

В последнем десятилетнем периоде отмечается появление отрицательного тренда в изменениях температуры воздуха районов Чукотского и Аляскинского. Однако значения тренда статистически незначимы. В целом по региону знак тренда в температуре летнего сезона положителен.

В районах арктических морей наиболее высокая скорость повышения температуры воздуха наблюдается с последнего 30-ти летнего периода. В районах морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и в северной части Канадского района значения линейного тренда соответственно составили 2,25, 1,71 и 1,74 °C/30 лет (табл. 1.7).

Таблица 1.7

# Коэффициенты линейного тренда средней за летний сезон температуры воздуха районов арктических морей за весь период наблюдений, за 30 и 10 лет

M	1936	1936-2013		1984-2013		2013	
море, часть моря, территория суши	Bx	D	Bx	Bx	D	Bx	
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,17	56,6	0,54	75,6	-0,09	9,2	
Баренцево море	0,08	21,6	0,39	44,0	0,24	9,1	
Карское море	0,06	17,4	0,45	54,0	1,57	63,9	
Море Лаптевых	0,10	24,5	0,75	62,4	1,72	56,7	
Восточно-Сибирское море	0,15	39,3	0,57	52,1	-0,69	21,6	
Чукотское море	0,17	44,6	0,36	35,8	-1,73	44,0	
Море Бофорта	0,15	42,5	0,32	32,8	1,59	50,9	
Северная часть Канадского района	0,06	15,2	0,58	52,4	1,22	32,9	
Примечание: Вх – значение линейного тренда в °C/10 лет; D – вклад тренда в полную							
лисперсию %: жирным шрифтом выделены статистически зна	чимые на	5% VDOBH	е тренлы				



# 2. Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях в июле-сентябре 2013 года

Оценки особенностей развития ледовых условий в июле-сентябре 2013 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, данным экспедиционных исследований, проводимых в ФГБУ «ААНИИ», и ряде международных проектов.

Со всей доступной исходной информацией по разделу можно ознакомиться на сайте ААНИИ по ссылке <u>http://www.aari.nw.ru/projects/ecimo/index.php</u>

Для иллюстрации ледовых условий в годовом цикле представлены совмещенные региональные карты ААНИИ, Канадской ледовой службы – КЛС и Национального ледового центра США - НЛЦ. Совмещение карт выполнено путем перекрытия слоев (ААНИИ, верхний слой) – (КЛС, средний слой) – (НЛЦ, нижний слой). Как результат, карты ААНИИ характеризуют ледовые условия морей Гренландского ... Чукотского, Берингова, Охотского и Балтийского, КЛС морей Бофорта, Канадского архипелага, Баффина, Девисова пролива, Лабрадор, Св. Лаврентия, а НЛЦ - Арктического Бассейна. Линкольна, южной части Гренландского моря (при этом полный охват карт НЛЦ – вся акватория СЛО и субполярные моря). Для построения совмещенных карт использовался архив данных в формате СИГРИДЗ Мирового центра данных по морскому льду (МЦД МЛ). В пределах отдельного месяца выборка карт из архива проводилась по критериям близости к середине месяца и интервала времени между картами ААНИИ и КЛС-НЛЦ в 1 сутки (день недели выпуска карт ААНИИ – каждая среда, КЛС – каждый вторник, НЛЦ – 1 раз в 2 недели по вторникам). Для цветовой окраски карт в зимний (по возрасту) и летний (по общей сплоченности) периоды использован стандарт ВМО (WMO/Td. 1215). Следует также отметить, что в зонах стыковки карт ААНИИ и КЛС, НЛЦ наблюдается определенная несогласованность границ и характеристик ледовых зон вследствие ряда различий в ледовых информационных системах ААНИИ и КЛС, НЛЦ (КЛС и НЛЦ имеют единую информационную систему в рамках Североамериканкой ледовой службы). Однако, данная несогласованность несущественна для целей интерпретации ледовых условий в рамках настоящего обзора. Исходная информация в формате ВМО СИГРИЗ доступна на сервере МЦД МЛ по адресам http://wdc.aari.ru/datasets/d0004 (карты ААНИИ), http://wdc.aari.ru/datasets/d0031 (карты КЛС), http://wdc.aari.ru/datasets/d0032 (карты НЛЦ).

Для получения оценок ледовитости на основе данных спутниковых систем пассивного микроволнового зондирования SSMR-SSM/I-SSMIS в МЦД МЛ ААНИИ принята следующая технология расчетов:



- источник данных архивные и квазиоперативные с задержкой 1-2 дня ежедневные матрицы (поля распределения) оценок общей сплоченности Северной (севернее 45° с.ш.) полярной области по алгоритму NASATEAM за период с 26.10.1978 г. по настоящий момент времени, копируемые с сервера НЦДСЛ;
- область расчета Северная полярная область и ее регионы с использованием масок океан/суша НЦДСЛ (<u>http://nsidc.org/data/polar\_stereo/tools\_masks.html</u>) и региональных масок ААНИИ;
- вычислительные особенности расчета авторское программное обеспечение ААНИИ с сохранением точности расчетов и оценке статистических параметров по гистограмме распределения.

Результаты расчетов ледовитости Северной полярной областей и их регионов доступны также на сервере МЦД МЛ ААНИИ (<u>http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/</u>).

Оценка квантилей распределения общей сплоченности 5% и 50% (медиана) выполнена на основе совмещенного месячного массива ледовых карт проекта ВМО "Глобальный Банк Цифровых Данных по Морскому Льду" за 1945-2004 гг. (включает данные ААНИИ за 1945-1992 гг., Балтийских ледовых служб за 1960-1979 гг., Национального ледового центра США за 1972-2004 гг., Канадской ледовой службы за 1968-1998 гг. и Японского метеорологического агентства за 1970-2006 гг.). Расчет среднемесячных значений общей сплоченности для 2013 г. выполнен на основе массива ежедневных распределений оценки общей сплоченности по алгоритму NASATEAM из архива Национального центра данных США по снегу и льду (<u>http://nsidc.org</u>).

На рис. 2.1 показаны границы и положение квазиоднородных районов, по которым проводится описание развития ледовых условий.

К началу летнего периода в Северном Ледовитом океане и его окраинных морях сложились следующие гидрометеорологические и ледовые условия: положительные аномалии температуры воздуха в Арктике, преобладание однолетних льдов в западном и восточном районах российского сектора Арктики, смещение массива старых льдов в канадский и гренландский сектора Арктики и приполюсный район.

В структурном составе льдов всего бассейна Северного Ледовитого океане преобладали однолетние льды, которые составляли около 65-70% от общего количества льда. Около 30-35% от общего количества льда составляли старые льды. Однолетние льды занимали западный и восточный районы российского сектора Арктики (районы 1, 2) и практически весь аляскинский сектор Арктики (район 3). Старые льды наблюдались преимущественно в канадском и гренландском секторах Арктики (районы 4 и 6) и приполюсном районе (район 5).

22





1-западный район российского сектора; 2-восточный район российского сектора; 3-аляскинский сектор; 4 канадский сектор; 5-приполюсный район; 6- гренландский сектор

#### Рис. 2.1. Квазиоднородные районы, выделенные в Северном Ледовитом океане

В морях восточного района российского сектора Арктики и в море Бофорта также сформировались отрицательные аномалии ледовитости, но они были незначительно меньше нормы, не более 4-8%.

На таком благоприятном фоне, который сформировался в начале летнего периода и особенно хорошо проявился в западных окраинных морях российского сектора Арктики, начались летние процессы (рис.2.2).





Рис. 2.2. Распределение льда по сплоченности в конце июня 2013 г.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период июль-сентябрь 2013 г. приведены на рисунках 2.3–2.11.

В июле продолжалось интенсивное очищение крайних западных (Баренцева, Карского и Лаптевых). К концу июля значительная часть акватории этих морей очистилась от дрейфующих льдов, аномалии ледовитости составили -30...-50%. Большое количество льда сохранялось в северо-западной части Карского, восточной части Восточно-Сибирского, Чукотском и Бофорта морях. Развитие ледовых условий в этих районах наблюдалась близко к среднемноголетнему значению (рис. 2.3).

Дрейф ледяного покрова приведен на рис. 2.4. В поле дрейфа льда наблюдалось хорошо выраженное развитие только одной из основных структур – Канадского антициклонического круговорота. Его развитие обусловило поступление льдов в море Бофорта и в моря восточного района российского сектора Арктики, поддерживая в них ледовитость, близкую к норме.

Трансарктического переноса льда был развит крайне слабо, практически не влияя на формирование общей структуры дрейфа льда в СЛО.

Общая ледовитость Северного Ледовитого океана в июле была меньше нормы (рис. 2.13, а). Основной вклад в формирование отрицательной аномалии ледовитости и сплоченности льда,



вносили окраинные западные моря (зоны выделенные синим цветом). Положительные аномалии сплоченности льда наблюдались в морях Восточно-Сибирском и Бофорта, а также в районе Гренландии, куда был направлен основной вынос льдов (рис. 2.5 б, зоны, выделенные зеленым и красным цветами).

Припай в российских арктических морях в июле полностью разрушился, что произошло в среднем на 5-15 суток раньше среднемноголетних сроков.



Рис. 2.3. Обзорная ледовая карта за 15–23.07.2013 г. на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США





1 – направление (стрелка) и скорость (2.5 км/сут) дрейфа автоматического буя; 2 – те же характеристики дрейфа льда, рассчитанные в узле сетки; 3 – кромка дрейфующего льда





Рис. 2.5. Медианное распределение сплоченности льда в июле 2013 г. (а) и её разности относительно медианного распределения за тот же месяц за периоды 1979-2013 (б) и 2002-2013 гг. (в) на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I, алгоритм NASATEAM

В течение августа продолжалось таяние и сокращение ледяного покрова в Северном Ледовитом океане. Уменьшение ледовитости происходило в основном за счет разрушения льда в западном районе российского сектора Арктики (Баренцево, Карское моря, Лаптевых). Граница отступления дрейфующих льдов в августе 2013 г. превзошла, наблюдавшийся абсолютный исторический минимум развития ледяного покрова в 2007 г. для этих окраинных арктических морей появился новый минимум развития ледяного покрова в августе. В морях восточного сектора российской Арктики и Бофорта ледовые условия были близки к норме. В августе сформировалась четко выраженная оппозиция в развитии ледовых условий между западной и восточной частями Северного Ледовитого океана (рис. 2.6).

В августе, в поле дрейфа льда существенных изменений не наблюдалось. Трансарктического перенос льда полностью отсутствовал и не влиял на формирование общей структуры дрейфа льда в СЛО. Канадский антициклонический круговорот был развит очень обширно и поддерживал высокую ледовитость в морях Бофорта, Восточно-Сибирском и Чукотском (рис. 2.7).

В результате смещения массива арктических льдов к побережью Гренландии и островам Канадского арктического архипелага, приноса льда в моря Бофорта и Восточно-Сибирское, в этих районах сформировались положительные аномалии сплоченности льда (рис. 2.8., зоны зеленого и красного цветов). В результате интенсивного таяния и разрушения льда в морях Гренландском, Баренцевом, Карском и Лаптевых в поле сплоченности льда сформировались отрицательные аномалии (рис. 2.8, зоны синего цвета).



Рис. 2.6. Обзорная ледовая карта за 12-20.08.2013 г. на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США





1 – направление (стрелка) и скорость (0.6 км/сут) дрейфа автоматического буя; 2 – те же характеристики дрейфа льда, рассчитанные в узле сетки; 3 – кромка дрейфующего льда





Рис. 2.8. Медианное распределение сплоченности льда в августе 2013 г. (а) и её разности относительно медианного распределения за тот же месяц за периоды 1979-2013 (б) и 2002-2013 гг. (в) на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I, алгоритм NASATEAM

В течение сентября происходило дальнейшее очищение российских арктических морей. В процесс очищения были вовлечены и восточные моря – Восточно-Сибирское и Чукотское, Бофорта. Но если Чукотское море полностью очистилось ото льдов, то в морях Восточно-Сибирском и Бофорта сохранилось большое количество остаточных льдов.



Основная масса льдов, сохранившихся после периода летнего таяния в Северном Ледовитом океане, была смещена в приполюсный район, гренландский и канадский сектора Арктики (рис. 2.9).

Дрейф ледяного покрова приведен на рисунке 2.12. Сформировавшееся в сентябре поле дрейфа льда имело чрезвычайно необычную структуру. В поле дрейфа льда образовался хорошо выраженный антициклонический круговорот с центром, смещенным на северную часть Восточно-Сибирского моря. Трансарктический вынос льда практически полностью отсутствовал. Сложившееся поле дрейфа поддерживало большую остаточную ледовитость в морях восточного района российского и канадском секторах Арктики.

В сентябре сохранились значительные отрицательные аномалии сплоченности льда в морях западной части СЛО – в гренландском и западной районе российского секторов Арктики (рис. 2.11, зоны темно-синего цвета). Положительные аномалии сплоченности сохранялись в целом во всей восточной части СЛО – в канадском и восточном районе российского секторов Арктики (рис. 2.11 б, зоны зеленого и красного цветов).



Рис. 2.9. Обзорная ледовая карта за 16-24.09.2013 г. на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США





1 – направление (стрелка) и скорость (4.8 км/сут) дрейфа автоматического буя; 2 – те же характеристики дрейфа льда, рассчитанные в узле сетки; 3 – кромка дрейфующего льда

Рис. 2.10. Поле скорости результирующего дрейфа льда за сентябрь 2013 г.



Рис. 2.11. Медианное распределение сплоченности льда в сентябре 2013 г. (а) и её разности относительно медианного распределения за тот же месяц за периоды 1979-2013 (б) и 2002-2013 гг. (в) на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I, алгоритм NASATEAM

По оценкам, выполненным в лаборатории режимных пособий ААНИИ, под руководством В.М. Смоляницкого, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2013 г. составила 5,1 млн. км<sup>2</sup> при норме 6,3 млн. км<sup>2</sup>, что на 19% меньше среднемноголетних значений.



Вместе с тем нужно отметить, что значение общей ледовитости СЛО и в двух его крупных секторах превзошли среднее значение ледовитости за последнее десятилетие (с 2002-2013 гг).

Ледовитость в СЛО и двух его секторах в 2013 г. оказалась значительно выше, чем ледовитость, наблюдавшаяся в этих районах за последние пять лет. Только в западном секторе 45°W-95°E (Гренландское - Карское моря) был установлен новый исторический минимум ледовитости (табл. 2).

Данные по ледовитости Северного Ледовитого океана на сентябрь и ее аномалии, а также сравнение с ледовитостями ряда лет начиная с 2007 г. приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

### Медианные значения ледовитости за 16 – 22 сентября 2013 г. и её аномалии от значений периодов 2002-2013гг. и 1978-2013гг. по данным наблюдений SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM

Мооди	S	Аномалии, тыс км2/%						
месяц	5, THC KM2	2008 г	2009 г	2010 г	2011 г	2012 г	2002-2013г	1978-2013г
16 22 00	5102.0	461,2	-173,1	419,0	525,5	1632,2	79,5	-1184,3
10-22,09	5105,0	9,9	-3,3	8,9	11,5	47,0	1,6	-18,8
		Сектор 45	°W-95°Е (І	Гренландск	ое - Карск	ое моря)		
Мооди	$S = m^2$				Аномалии	, тыс км <sup>2</sup> /%	/o	
месяц	5, тыс, км	2008 г	2009 г	2010 г	2011 г	2012 г	2002-2013г	1978-2013г
16 22 00	827.0	-377,7	-554,1	-496,6	-395,2	-156,4	-433,4	-643,6
10-22,09	827,0	-31,3	-40,1	-37,5	-32,3	-15,9	-34,4	-43,8
	Сектор 95	°E-170°W	(моря Лапт	евых - Чук	отское, Бер	рингово, Ох	котское)	
Мооди	S, тыс, км <sup>2</sup>	Аномалии, тыс км <sup>2</sup> /%						
месяц		2008 г	2009 г	2010 г	2011 г	2012 г	2002-2013г	1978-2013г
16 22 00	1554 4	183,7	3,8	233,7	194,0	740,4	129,1	-523,5
10-22,09	1554,4	13,4	0,2	17,7	14,3	91,0	9,1	-25,2
	Сен	ктор 170°W	/-45°W (мо	ре Бофорта	и и Канадск	кая Арктика	a)	
Мооди	$S = m^2$				Аномалии	, тыс км <sup>2</sup> /%	/o	
месяц	5, тыс, км	2008 г	2009 г	2010 г	2011 г	2012 г	2002-2013г	1978-2013г
16 22 00	2721.6	655,1	377,1	681,8	726,7	1048,2	383,8	-17,2
16-22,09	2721,6	31,7	16,1	33,4	36,4	62,6	16,4	-0,6

На рисунке 2.13 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северной полярной области и ее отдельных секторов за период с 26.10.1978 по 22.09.2013 по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM. На рисунке 9 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для СЛО и его отдельных секторов за период с 26.10.1978 по 29.12.2013 гг. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM. Ход общей ледовитости показывает, что практически весь зимний, весенний и летний периоды количество льда в целом по СЛО было меньше среднемноголетнего значения (нормы за 1978-2013 гг.), но значительно превышала значения ледовитости за последнее пятилетие.





a) - для Северной полярной области и меридиональных секторов б) - 45°W-95°E (Гренландское – Карское моря), в) -95°E-170°W (моря Лаптевых – Чукотское и Берингово, Охотское) и г) - 170°W-45°W (море Бофорта и Канадская Арктика) за период с 26.10.1978 по 22.09.2013 гг. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM





3. Гидрологические и гидрохимические условия в Северном ледовитом океане в июле-сентябре 2013 г.

### 3.1. Термохалинные условия арктических морей

В третьем квартале 2013 г. информация о термохалинном состоянии вод Северного Ледовитого океана (СЛО) была представлена данными нескольких российских и международных экспедиций, а также данными с 14-ти ITP-буев (Ice-Tethered Profiler), оснащенных профилографами, с помощью которых обеспечивалось непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760-метрового слоя вод (таблица 3.1).

Таблица 3.1

### Сведения о наблюдениях за температурой и соленостью, выполненных на акватории СЛО в третьем квартале 2013 г. и загруженных в БДТХ отдела океанологии ААНИИ

N⁰	Экспедиция	Дата первой и по	Дата первой и последней станций		
1	НАБОС-2013, НЭС «Академик Федоров»	23.08.2013	19.09.2013	165	
2	Программа «Плавучий Университет», НИС «Профессор Молчанов»	02.06.2013	21.07.2013	124	
3	Программа «Ямал-Арктика», НИС «Профессор Молчанов»	28.08.2013	23.09.2013	93	
4	а/л «Ямал»	03.06.2013	22.06.2013	28	
5	ITP56*	01.07.2013	29.09.2013	182	
6	ITP57	01.07.2013	29.09.2013	182	
7	ITP59	03.09.2013	08.09.2013	10	
8	ITP61	01.07.2013	29.09.2013	362	
9	ITP62	01.07.2013	18.07.2013	80	
10	ITP63	01.07.2013	30.09.2013	365	
11	ITP64	01.07.2013	24.08.2013	217	
12	ITP68	27.08.2013	29.09.2013	133	
13	ITP69	28.08.2013	29.09.2013	130	
14	ITP70	25.08.2013	30.09.2013	343	
15	ITP72	30.08.2013	29.09.2013	120	
16	ITP73	15.09.2013	29.09.2013	29	
17	ITP74	07.09.2013	29.09.2013	44	
18	ITP75	11.09.2013	29.09.2013	35	
19	Transdrift XXI, НИС «Виктор Буйницкий»	05.09.2013	17.09.2013	49	
	Итого			2813	

\* Примечание: данные буев ITP, доступные с сайта Океанографического института в Вудсхоле, США (http://www.whoi.edu/itp)

Из этих 14 буев шесть относятся к буям, выставленным ранее и продолжающим измерение на акватории СЛО, тогда как восемь буев были установлены в рамках проводимых морских



научных экспедиций. Положение всех выполненных океанографических станций, использованных в рамках настоящего обзора, показано на рисунке 3.1.



Рис. 3.1. Положение океанографических станций, выполненных в третьем квартале 2013 г.

Для анализа особенностей вертикальной термохалинной структуры по данным наблюдений в третьем квартале 2013 г. был осуществлен расчет основных статистических характеристик (среднее, стандартное отклонение, минимальные и максимальные значения) вертикальных профилей температуры и солености. При этом было проведено предварительное объединение исходных данных за три месяца в отдельных районах акватории Арктического бассейна. В отдельных случаях указанные статистические характеристики определялись не для отдельных районов, а вдоль океанографических разрезов.

В качестве географических зон для объединения групп станций использовались: район дрейфа ITP буя № 57 для описания вертикальной структуры района западного склона хр. Ломоносова (параллели 86–88° с.ш.) и район дрейфа ITP буев №№ 68–70 в центральной части



Канадской котловины для описания вертикальной структуры южной части Амеразийского суббассейна в области ядра круговорота Бофорта (рис. 3.1).

Сравнительный анализ выполнялся путем сопоставления вертикальных профилей основных статистических характеристик температуры и солености, полученных для каждой из выделенных групп, с аналогами, определяемыми на стандартных горизонтах из станций, выполненных в период с 1950 по 1993 гг. в пределах полосы шириной 100 км в стороны от групп выбранных станций, показанных на рисунке 3.1 в виде замкнутых контуров.

#### Евразийский суббассейн

Поверхностный слой Евразийского суббассейна в районе дрейфа ITP № 57 в третьем квартале 2013 г. характеризовался относительно высокой (выходящей за рамки стандартного отклонения климатических значений) положительной аномалией солености, которая постепенно уменьшалась по мере роста глубины (рис. 3.2). На глубине 10 метров соленость варьировалась от 31,5 до 33,0 ‰, что на 0,3–1,8 ‰ выше климатической нормы (~31,2 ‰). На глубинах 40–50 м значения аномалии достигают максимальных величин, после чего ее значения понижаются до 0,2 ‰ на глубине 100 м и затухают на глубине 250 м (рисунок 3.2). Температура поверхностного слоя превышает климатическое значение почти на 0,5 °C. По мере увеличения глубины значение положительной аномалии температуры воды уменьшается, достигая нулевых значений в слое холодного галоклина на глубинах 60–70 м.

Слой атлантических вод (AB) в Евразийском бассейне СЛО продолжает характеризоваться высокими положительными аномалиями температуры воды, которые в некоторых случаях почти в два раза превосходят по амплитуде стандартные отклонения климатических значений температур в этом слое. В целом слой воды с положительными аномалиями расположен в диапазоне глубин от 80 до 600 метров (рис. 3.2).

В зоне ядра AB значения температуры в третьем квартале 2013 г. достигали значений от +1,1 до +1,2 °C, что на 0,5 °C выше климатической нормы для этого района. Кроме аномалии термического состояния прослеживается аномалия в локализации ядра AB и его границ: верхняя граница AB, определяемая по изотерме 0° C, расположена на глубине 140 метров, что примерно на 50 метров выше ее климатического положения. При этом нижняя граница слоя AB наблюдается примерно на том же уровне, как и по климатическим данным (рис. 3.2).



ОБЗОР ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ III КВАРТАЛ 2013



 профиль средних значений, 2 – область стандартного отклонения, 3 – минимальные и максимальные значения наблюдаемых характеристик, 4 – средние климатические значения и стандартные отклонения соответствующих характеристик по историческим данным базы океанографических данных СЛО отдела океанологии ААНИИ за июль – август в период от 1950 по 1993 г.

# Рис. 3.2. Вертикальное распределение солености и температуры по результатам измерений профилографа ITP-57 в районе центральной части котловины Амундсена в июле-августе 2013 г.

#### Амеразийский суббассейн

В третьем квартале 2013 г. в Амеразийском суббассейне термохалинные характеристики верхнего перемешанного слоя в целом повторяли тенденции предыдущих лет. Наблюдаемое распреснение поверхностного слоя (27,2 ‰) по сравнению с климатической нормой (29,5 ‰) превысило две промилле.

Значение средней температуры поверхностного слоя составляло –1,5 °C и не отличалось от климатического среднего.

Ниже верхнего перемешанного слоя в Канадской котловине на глубинах от 30 м залегает слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), поступающих в Амеразийский суббасейн через Берингов пролив. Слой ЛТВ характеризуется наличием локального максимума температуры в диапазоне значений солености от 30,5–31,0 до 33 ‰. Максимальное значение средней температуры в данном слое по данным третьего квартала 2013 года на глубине 60 м достигает 0 °С, что значительно выше климатической нормы (рис. 3.3). На глубинах 190–200 м залегают так называемые зимние тихоокеанские воды, затекающие через Берингов пролив на шельф Чукотского моря в холодный период года. Эти воды в Арктическом бассейне характеризуются низкими значениями температуры и соленостью равной 33,1 ‰, наблюдаемой в ядре данной прослойки.



ОБЗОР ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ III КВАРТАЛ 2013



Усл. обозначения см. рисунок 3.2

# Рис. 3.3. Вертикальное распределение солености и температуры по результатам измерений профилографов ITP-68, 69 и 70 в центральной части Канадской глубоководной котловины в третьем квартале 2013 г.

От глубин около 200 метров по данным (рис. 3.3) наблюдений в Канадской котловине отмечается постепенный рост температуры воды, обусловленный присутствием атлантической водной массы, отличающейся высокими значениями температуры и солености. Переход через нулевую изотерму наблюдается на глубине 300 м. Максимальная температура в ядре AB составила 0,8 °C, что превышает климатическую норму на 0,35 °C. При этом глубина залегания ядра AB была на 50 м выше, по сравнению с климатическим средним.

#### Результаты исследований, проводимых в рамках экспедиции «НАБОС-2013»

На разрезе, выполненном вдоль 81° с.ш. поперек желоба Св. Анны верхний слой (до 25 м) занимает водная масса с положительными температурами, обусловленными летним прогревом и соленостью ниже 34 ‰ (рис. 3.4). При этом в восточной части (начиная со станции 42х) разреза видно вклинивание более теплых вод с температурой выше 2 °C.





### Рис. 3.4. Распределение температуры (а) и солености (б) на разрезе вдоль 81° с.ш. Серыми/белыми пунктирными линиями показано средние климатические (1950–1994 гг.) значения температуры и солености

Положение изогалины 34 ‰ (являющейся общепринятым критерием положения нижней границы галоклина в Арктике) в восточной части разреза выше на 30-40 м по сравнению с климатическими положением, что свидетельствует о более интенсивном затоке вод североатлантического происхождения. Под поверхностным слоем залегают водные массы, образовавшиеся в зимний период за счет процессов выхолаживания и ледообразования. Для них свойственны отрицательные температуры (до -1 °C) и более высокая соленость (выше 34 ‰). Фрамовская ветвь атлантической водной массы, рециркулирующая в желобе в виде циклонической ячейки, занимает глубины от 75 м до дна в западной части разреза и от 75 м до 200-300 м в восточной его части. Ядро этой водной массы залегает на глубине 100-150 м и имеет температуры выше 2 °C в центральной части разреза. Характерно, что ядро втекающей с севера в западной части желоба фрамовской ветви имеет немного более низкую температуру по сравнению с ядром вытекающей струи, хотя из общих соображений о теплопотерях в струе фрамовской ветви картина должна быть обратной. Наиболее вероятно это является результатом сезонного цикла с максимумом, расположенным в восточной части разреза, т.е. ниже по потоку.

По сравнению с климатическими данными, осредненными за период 1950–1993 гг., верхняя граница фрамовской ветви атлантических вод поднялась примерно на 50 м, а температура ядра стала теплее более чем на 1 °C. Положение нижней границы изменилось только для восточной части разреза (поднялась на 200 м). На больших глубинах в районе выполнения разреза, как это и ожидалось, наблюдается область с водными массами температура которых ниже 0 °C. Это воды североатлантического происхождения, поступающие в желоб Святой Анны со стороны Баренцева моря – так называемая баренцевоморская ветвь атлантических вод в Арктике. При этом соленость



этой водной массы демонстрирует характерное чередование слоев с относительно невысокой соленостью на промежуточных глубинах и более соленого придонного слоя. Эти две водные массы формируются из атлантической воды, поступающей в Баренцево море из Северной Атлантики, но в их формировании задействованы различные процессы, включающие таяние и нарастание морского льда, распреснение речным стоком, теплообмен с атмосферой. Для более подробного анализа этих процессов требуется проведение отдельной исследовательской работы.

Поверхностная летняя арктическая водная масса образуется в летний период. В высокоширотных районах она не так ярко выражена, как в шельфовых зонах, и выделяется более низкими значениями солености и повышенными температурами на участках активного таянья льда в летний период. Там же, где лед слабо таял и экранировал прогрев поверхностных вод, она отсутствует. Здесь от поверхности простирается зимняя арктическая водная масса. На разрезе, выполненном вдоль 90° в.д. (рис. 3.5), летняя арктическая водная масса наблюдается только в южной части разреза (к югу от станции № 107). Она занимает слой от поверхности до 40 м.





В остальной части разреза от поверхности до 40 м наблюдается зимняя поверхностная арктическая водная масса, для которой характерны отрицательные температуры, обусловленные процессами выхолаживания и соленость ниже 34 ‰. Положение изогалины 34 ‰ на 30–40 м выше по сравнению с климатическими данными, причем разница между их положением увеличивается в северном направлении примерно до середины разреза, где располагается ядро основной струи фрамовской ветви атлантических вод. Под поверхностной водной массой залегает промежуточная арктическая водная масса с низкими температурами и соленостью до 34,4 ‰. При этом нижняя граница этой водной массы заглубляется от 100 м до 150 м с юга на север.

Нижняя граница атлантических вод фрамовской ветки, традиционно определяемой по положению нулевой изотермы, залегает на глубинах 850–900 м, а на станции 106 достигает дна.



Ядро атлантических вод наблюдается на глубинах 200–300 м, температуры в нем превышают 2,5 °C, что более чем на 1 °C выше по сравнению с климатическими данными. Верхняя граница атлантических вод поднялась на 25–50 м по сравнению с климатическим положением, тогда как положение нижней ее границы практически совпадает с историческими значениями.

На разрезе, выполненном вдоль 95° в.д. (рис. 3.6), к югу от станции № 90 на поверхности расположена летняя поверхностная арктическая водная масса с отрицательными значениями температуры (> –1 °C) и соленостью ниже 34 ‰.





Мощность слоя, занимаемого этой водной массой, постепенно уменьшается от 50 до 10 м в северном направлении. На остальных станциях разреза слой от 0 до 50 м занимает зимняя арктическая поверхностная водная масса. Положение изогалины 34 ‰ выше на 20-30 м. Под промежуточной водной массой, расположенной на глубинах от 40 до 100 м, располагается фрамовская ветвь атлантической водной массы. Мощность слоя составляет 800–900 м. Ядро атлантических вод залегает на глубине 150-250 м, максимальные значения температуры в нем достигаю 2,0-2,5 °C. По сравнению с климатическими данными верхняя граница атлантических вод на 40-50 м выше нормы, а температура в ядре на 1,0-1,5 °C превышает климатические значения. Нижняя граница, наоборот, зафиксирована на 50 м ниже относительно климатической нормы. В южной части разреза положение верхней границы атлантической водной массы выше на 30-40 м по сравнению с остальными станциями. Мощность слоя этой водной массы здесь составляет всего 150 м. В придонных горизонтах располагается водная масса с отрицательными температурами и высоко соленостью (выше 34,9 ‰). Воды, имеющие соленость выше 34,9 ‰, занимают более мощный слой и распространены южнее по сравнению с климатическим средним.

Разрез, выполненный вдоль 105° в.д. (рис. 3.7), демонстрирует схожие с разрезом по 95° в.д. особенности вертикального распределения температуры и солености.







В поверхностном слое отсутствует летняя арктическая поверхностная водная масса. Положение изогалины 34 ‰ выше на 30 м по сравнению с климатической нормой. В южной части разреза, как и на предыдущем, наблюдается поднятие атлантических вод на 50-70 м по сравнению с северной частью разреза. Мощность слоя атлантических вод здесь несколько меньше и составляет 700 м. По сравнению с предыдущим разрезом температура в ядре фрамовской ветки атлантических вод понижается до +2 °C, а положение верхней границы на 30-40 м выше климатического значения. Нижняя граница AB не демонстрирует существенных изменений и находится на уровне около 800 метров.

На разрезе, выполненным на траверсе о-ва Большевик (рис. 3..8) поверхностный слой от 0 до 30 м занимает зимняя арктическая поверхностная водная масса с температурой ниже -1 °C и соленостью около 34 ‰. Изогалина 34 ‰ расположена на 30 м выше климатического среднего положения для этого периода года. Мощность слоя атлантических вод изменяется от 800 м в северной части разреза до 300 м в южной. При этом ядро атлантических вод располагается на глубине 200–300 м и имеет более низкую температуру (+1,6..+1,8 °C), по сравнению с разрезами, лежащими к западу от текущего. К сожалению незначительная протяженность разреза на север не позволяет более точно установить положение струи атлантических вод и температуру в ее ядре. Поэтому значение температуры +1,8 °C следует считать нижней возможной оценкой последнего параметра. Тем не менее, для всего разреза температура ядра была выше климатической нормы на 0,2–0,3 °C. Положение верхней границы фрамовской ветви AB соответствует всем предыдущим разрезам с точки зрения аномально высокого ее расположения. Характерный масштаб смещения составляет около 50 м к поверхности.





Рис. 3.8. Распределение температуры (а) и солености (б) на разрезе вдоль 110° в.д.

В южной части разреза, выполненном вдоль 126° в.д. (рис. 3.9), вплоть до станции № 14 в поверхностном слое наблюдаются области с положительными значениями температур. Для остальных станций, расположенных в мористой части характерны отрицательные температуры и соленость ниже 34 ‰. Изогалина 34 ‰ расположена выше в среднем на 20–30 м по сравнению с климатическими данными. Изотерма –1,0 °С заглублена на 20 м по сравнению с предыдущими разрезами, также как и верхняя граница атлантических вод (150 м). Мощность слоя меняется незначительно вдоль разреза: от 850 до 600 м в направлении с юга на север. При этом на станциях № 10–16 воды с положительными температурами наблюдались до дна. Отклонение толщины слоя атлантических вод относительно климатических данных составляет от 300 (для станций южнее станции № 16) до 50 м. Ядро атлантических вод располагалось на глубине 200–300 м . Температура ядра составила 1,7–1,8 °С, что на 0,7–0,8 °С выше климатической нормы. Положение верхней границы на 20–30 м относительно климатических данных. К югу от станции № 9 атлантические воды зафиксированы не были. Придонные слои характеризовались отрицательными температурами и высокой соленостью.







На разрезе вдоль 142° Е (рис. 3.10) глубины залегания изотерм и изогалин практически не меняется. Поверхностные промежуточные характеризуются И слои отрицательными температурами и соленостью ниже 34.4 ‰. Изогалина 34 ‰ залегает выше на 10 м относительной климатической нормы. Верхняя граница атлантических вод, подстилающих промежуточные слои располагается на глубине 180 м, что на 40-50 м выше климатической нормы. Мощность слоя атлантических вод достигает около 600 м, что на 300 м больше по сравнению с климатическими данными. При этом положительные температуры воды были зафиксированы и в придонных слоях Мощность слоя с соленостью выше 34,9 ‰ также больше на 300 м по сравнению с климатической нормой. Ядро атлантических вод имело температуру 1,3-1,4 °С (на 0,7° С выше по сравнению с климатическими данными) и располагалось на глубинах 300-400 м.



Рис. 3.10. Распределение температуры (а) и солености (б) на разрезе вдоль 142° Е



# Результаты океанографических наблюдений, проводимых на НИС «Проф. Молчанов» по программе «Арктический плавучий университет» в июне – июле 2013 г.

На рисунке 3.11 представлено вертикальное распределение температуры и солености на океанографическом разрезе «Кольский меридиан» вдоль 33°30' в.д., выполненным для анализа термического состояния теплых атлантических вод, проникающих в Баренцево море с запада с Нордкапским течением. Почти всю толщу разреза за исключением первой и последней океанографической станций занимает теплая атлантическая водная масса (ABM) с температурами выше 0 °С и соленостью более 34,7 ‰. Ядро ABM с максимальной температурой около 5 ° С располагается на станции № 42 (71°18' с.ш.) на глубинах от 150 до 200 м. Максимальные значения солености достигают 35,05 ‰ в центральной части разреза и отмечаются по всей водной толщи от поверхности до дна.

ABM пересекает океанографический разрез не единым потоком, а в виде отдельных четко локализованных струй, обладающих, как правило, относительной стационарностью в географическом положении и глубине залегания. Так на разрезе «Кольский меридиан» выделяются как минимум четыре струи ABM, температуры которых последовательно уменьшаются при продвижении в северном направлении.

Океанографические измерения на разрезе «Кольский меридиан» (рис. 3.11) в 2012 и 2013 гг. проводились практически в одно и то же время (2012 г. – 5 июня; 2013 г. – 7 июня), что позволило провести анализ термического состояния АВМ в Баренцевом море за последние два года.



Рис. 3.11. Распределение температуры (а) и солености (б) на разрезе «Кольский меридиан» вдоль 33°30' в.д. в Баренцевом море

Проведенное сравнение продемонстрировало уменьшение значений температуры ABM в 2013 г. по сравнению с 2012 г. В 2012 г. температура ядра ABM в западной части разреза в слое от 100 до 250 м глубины составляла 5,6 °C, в то время как по данным 2013 г. температура ядра ABM не превысила 5,0 °C.

Подобная тенденция уменьшения температуры ABM на 1,0–1,2 °C в 2013 г. по сравнению с 2012 г. наблюдалась также и в восточной части Баренцева моря у побережья архипелага Новая Земля.

На рисунке 3.12 показано вертикальное распределение температуры и солености на океанографическом разрезе, выполненном в проливе Фрама (Гренландское море) от п. Баренцбург (арх. Шпицберген) в сторону Гренландии для исследования термического состояния Западно-Шпицбергенского течения, являющегося главным источником тепла в СЛО. Разрез почти полностью до глубин 700 м заполнен атлантическими водами с температурой превышающей 0 °С и соленостью выше 34,9 ‰ за исключением верхнего 25 м слоя у берегов Шпицбергена. Максимальная температура воды, достигающая 4,8 °С, наблюдалась в поверхностном слое на станции № 60. В районе станции № 59 на горизонтах 100–120 м глубины было отмечено ядро наиболее соленых вод (35,1 ‰) с максимальной температурой 4,6 °С.



Рис. 3.12. Распределение температуры (а) и солености (б) на разрезе поперек пролива Фрама в Гренландском море



# Результаты океанографических наблюдений экспедиции «Ямал-Арктика 2013», прошедшей на НИС «Профессор Молчанов» в августе-сентябре 2013 г. в Карском море

Одной из целей исследований, проводимой экспедиции «Ямал-Арктика 2013», являлось изучение распространения и взаимодействия морских и речных вод на акватории Карского моря. На рисунке 3.13 приведено вертикальное распределение температуры и солености на широтном разрезе в Карском по 75° с.ш. от архипелага Новая Земля до 84,2° в.д. Максимальные значения температуры воды в пределах 6,7–7,6 °С наблюдались в поверхностном слое. Фронтальный раздел между солеными и распресненными речным стоком водами набдюдался в западной части разреза между станциями № 8 и № 9. Подобное распределение поверхностной солености в 2013 г. сильно отличается от 2012 г., когда шлейф речных вод был найден только на самой восточной станции разреза. При этом нименьшие поверхностные значения солености (8,3 ‰) обнаруживаются в центральной части разреза на станции № 7. По мере продвижения в восточном направлении значения поверхностоной солености возрастают до 24,1 ‰. Значения поверхностной солености в западной части разреза (станции 9–13) варьируются в пределах 31,0–31,6 ‰. Ниже слоя пикноклина, начиная с глубин 15-20 м (до дна в восточной части разреза), залегают воды с отрицательной температурой, образовавшиеся в результате осенне-зимней конвекции. В западной части разреза в районе станций №№ 10, 11 на восточном склоне Новоземельского желоба на глубинах от 80 до 200 м зафиксировано локальное увеличение температуры воды почти до 0 °С. Данный источник тепла имеет адвективное происхождение.





# Рис. 3.13. Распределение температуры (а) и солености (б) в верхнем 100 м слое на разрезе № 2 (75°00' с.ш.) в Карском море

### 3.2. Гидрохимические условия

Данные о гидрологическом и гидрохимическом состоянии СЛО были получены в ходе научно – исследовательских экспедиций:

- «Ямал-Арктика» на НИС «Профессор Молчанов» в августе – сентябре 2013 г. в Карском море;

- «ЛАПЭКС» на НИС «Виктор Буйницкий» в сентябре 2013 г в море Лаптевых;

- «NABOS» на борту НЭС «Академик Федоров» в августе сентябре» 2013 г. в Северном Ледовитом океане;

### 3.2.1 Предварительные результаты гидрохимических наблюдений в Карском море

По данным гидрохимических наблюдений в акватории Карского моря (рис. 3.14) можно сделать выводы, что летом 2013 г. центральный район Карского моря был занят пресными и богатыми биогенными элементами водами речного происхождения, в отличие от 2012 г. когда речные воды распространялись на северо-восток, не затрагивая при этом центральный район моря (рис. 3.15).





### Рис. 3.14. Схема океанографических станций, на которых выполнялись гидрохимические наблюдения



### Рис. 3.15. Поверхностное распределение неорганического кремния в мкмоль/л

2013 Такому северо-запалному переносу речных вод в г. способствовали гидрометеорологические условия, усиливающие интенсивность течений Св. Анны и Ямальского. За границу распространения речного стока принята изолиния 10 мкМоль/л. Юго-западный вариант распространения речного стока летом в 2013 г. достаточно типичен для Карского моря. По данным экспедиций «Баркалав» в 2007 г. и в 2008 г. наблюдалась схожая ситуация, однако летом 2007 г. и 2008 г. северный район Карского моря был занят пресными водами вплоть до оконечности м. Желания архипелага Новая Земля, что не совсем типично для распространения речного стока в Карском море.

Летом 2013 г. в Обь–Енисейском районе наблюдался дефицит растворенного кислорода в поверхностном слое воды – 3 % (рис. 3.16). Содержание растворенного кислорода снижается здесь за счет выноса органических и минеральных веществ с речным стоком на окисление, которых тратиться кислород. В 2012 г. дефицит кислорода в Обь–Енисейском районе доходил до 10 %. В северной части района исследования насыщение кислородом поверхностного слоя воды составляло 100 %, в 2012 г. насыщение воды кислородом было несколько выше и составляло 101 – 102 %, что связано с отсутствием вод речного происхождения в центральном районе море в отличие от настоящего года, когда речной сток распространялся далеко на север моря. Поверхностный слой воды северо–западного района исследования вдоль архипелага Новая Земля перенасыщен кислородом – 102 %. Летом 2012 г. наблюдалась схожая ситуация.

48





Рис. 3.16. Поверхностное распределение растворенного кислорода в % насыщения

В этом районе при таянии Новоземельского ледяного массива создаются благоприятные условия для развития фитопланктона, а следовательно и для насыщения воды кислородом. Вертикальное распределение растворенного кислорода и биогенных элементов в Объ–Енисейском районе имело слабо выраженный стратифицированный характер, в отличие от 2012 г. Насыщение воды кислородом опускалось до 54 %. В слое воды от 0 м до слоя пикноклина содержание растворенного кислорода и биогенных элементов однородно. Насыщение воды кислородом здесь – 94 %, фосфатов – 0,71 мкмоль/л, силикатов –37,5 мкмоль/л. Наибольшее содержание растворенного кремния в Обской губе – 86 мкмоль/л. В 2012 г. содержание кремния достигало 150 мкмоль/л, что превышает среднее значение климатических данных.

Яркой особенностью гидрохимического режима Карского моря является максимум кислорода в промежуточном слое воды. В глубоководном районе Карского моря западнее 70° в.д. максимум кислорода наблюдается на глубине 25 м (рис. 3.17). Средние абсолютные значения кислорода – 8,80 мл/л, относительное содержание кислорода – 106 %. В районе распространения речных вод (восточнее 70° в.д. – станция № 8) средняя концентрация кремния составляет 8 – 36 мкМоль/л, что существенно выше по сравнению с 2012 г., а содержание фосфатов несколько меньше. В Новоземельской впадине наблюдаются наибольшие концентрации биогенных элементов в придонном слое воды, так как здесь происходит интенсивное окисление



органического вещества, о чем свидетельствует дефицит кислорода – 1- %. Содержание кремния достигает 17 мкМоль/л, фосфатов – 1,10 мкМоль/л (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Распределение а) растворенного кислорода в мл/, б) растворенного кислорода в % насыщения, в) кремния в мкМоль/л, г)фосфатов в мкМоль/л на разрезе вдоль 75° с.ш.

На глубине 75 – 150 м отчетливо выделяется «язык» атлантической водной массы (между станциями № 84 и № 88). Содержание растворенного кислорода в атлантической водной массе понижено – 7,10 мл/л, что соответствует 86,4 % (рис. 3.18). В 2012 г. содержание растворенного кислорода в атлантической водной массе было 7,13 мл/л или 90,2 %. Также «язык» атлантической водной массе было 7,13 мл/л или 90,2 %. Также «язык» атлантической водной массе одержанию кремния –8,52 мкМоль/л и фосфатов – 0,70 мкМоль/л, причем концентрация кремния в 2012 г. было меньше и составляло 5 мкМоль/л.

В целом, содержание биогенных элементов монотонно возрастает с глубиной, а содержание растворенного кислорода убывает. Среднее абсолютное значение кислорода в западной части разреза составляет 7,60 мл/л, что меньше, чем в восточной части разреза – 8,00 мл/ при одинаковых значениях насыщения воды кислородом (рис. 3.18). Это объясняется тем, что в западной части разреза средняя величина солености морской воды несколько выше, чем в восточной.



ОБЗОР ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ III КВАРТАЛ 2013



Рис. 3.18. Распределение а) растворенного кислорода в мл/, б) растворенного кислорода в % насыщения, в) кремния в мкМоль/л, г)фосфатов в мкМоль/л на разрезе вдоль 77° с.ш.

#### 3.2.2 Предварительные результаты гидрохимических наблюдений в море Лаптевых

Схема океанологических станций, на которых выполнялись гидрохимические наблюдения, представлена на рисунке 3.19.



Рис. 3.19. Схема океанологических станций



б)

#### Растворенный кислород

Обобщенные вертикальные профили концентраций растворенного кислорода представлены на рисунке 3.20 а и 3.20 б. Концентрации растворенного кислорода в поверхностном слое изменялись от 7,3 до 9,0 мл/л, а их относительные величины – от 93 до 110%. В придонном слое мелководной части моря (при глубинах до 50 м), наблюдалось резкое понижение концентраций растворенного кислорода до 5-6 мл/л, при минимальной величине - 3,3 мл/л. При этом, относительные величины концентраций растворенного кислорода составляли 60-80% при минимуме – 40%. Такой характер распределения величин концентраций растворенного кислорода свидетельствует о наличии ярко выраженных «застойных» вод в придонном слое. На более глубоководных станциях (при глубинах более 100 м) концентрации растворенного кислорода составляли 7,0-7,5 мл/л, а их относительные величины 85-92%.



## Рис. 3.20. Обобщенные вертикальные профили концентраций растворенного кислорода, мл/л (а) и относительных величин концентраций растворенного кислорода, % (б)

#### Биогенные элементы: фосфаты, кремний

a)

Обобщенные вертикальные профили концентраций фосфатов и кремния представлены на рисунке 3.21 а и 3.21 б. Вертикальное распределение концентраций фосфатов характеризовалось резким увеличением от поверхности (0,4–0,8 мкмоль/л) до горизонта 50 м (1,2–2,5 мкмоль/л). Ниже этого горизонта диапазон изменения концентраций фосфатов был незначителен и составлял 2.2–2.4 мкмоль/л. В «застойных» водах концентрации фосфатов увеличивались до 2,5–3,3



б)

мкмоль/л. Вертикальные профили концентраций кремния указывают на наличие двух максимумов:

Первый максимум (до 30 мкмоль/л) располагался в поверхностном слое и соответствовал наличию речного стока;

Второй максимум (до 33 мкмоль/л) располагался в придонном слое мелководных станций и приурочен к залеганию «застойных» вод.

Ниже 100 м изобаты концентрации кремния были близки к соответствующим значениям для атлантических вод (~5 мкмоль/л).

a)



### Рис. 3.21. Обобщенные вертикальные профили концентраций фосфатов, мкмоль/л (а) и кремния, мкмоль/л (б)

#### Мутность

Обобщенные вертикальные профили мутности представлены на рисунке 3.22.

Вертикальное распределение величин мутности сходно с распределением концентраций кремния. Повышенные значения этой величины наблюдались в поверхностном слое, что очевидно связано с повышенным содержанием взвешенных веществ в речном стоке, а также возможно с увеличением биомассы фитопланктона при протекании процесса фотосинтеза. Это косвенно подтверждают максимальные концентрации растворенного кислорода и минимальные концентрации фосфатов. Кроме того, в придонном слое мелководных станций наблюдался второй максимум мутности, что очевидно связано с увеличением содержания детрита в «застойных водах». Ниже изобаты 50 м величины мутности изменялись в диапазоне 0,5–1,0 ftu.





Рис. 3.22. Обобщенные вертикальные профили мутности (ftu)

Выполненные гидрохимические исследования в море Лаптевых в сентябре 2013 г. показывают, что в этот период наблюдались ярко выраженные «застойные» воды с минимальными концентрациями растворенного кислорода и максимальными значениями концентраций фосфатов и кремния, а также величины мутности. Величины концентраций растворенного кислорода были ниже предельно–допустимых концентраций для рыбохозяйственных водоемов.

### 3.2.3 Предварительные результаты гидрохимических наблюдений в СЛО

Расположение станций СТД-зондирования и отбора проб для гидрохимических наблюдений приведено на рисунке 3.23.





# Рис. 3.23. Расположение станций СТД-зондирования и отбора проб для определения растворенного минерального кремния, фосфора (черные кружки), растворенного органического фосфора (розовые кружки), растворенного органического азота и углерода (голубые кружки), растворенного и взвешенного органического углерода (желтые кружки), взвеси и углеводородов (белые кружки), метана (красные кружки)

#### Растворенный кремний

Результаты исследований показывают типичное распределение растворенного кремния, соответствующее заключительным стадиям вегетационного периода с локальными особенностями процесса на дистанционно удаленных друг от друга разрезах (пренебрежительно малые содержания кремния (до 0,18 мкмоль/л) (иногда неопределяемые концентрации) в поверхностных водах прибрежных зон западных разрезов в районах м. Арктический, Северной Земли, представленных обедненными атлантическими водами с незначительным нарастанием при приближении к ледовой кромке (1,70-2,28 мкмоль/л. В поверхностных водах центральной и восточной частях моря Лаптевых появляются ощутимые содержания кремнекислоты (до 4,21 мкмоль/л), обусловленные влиянием речного стока. Восточнее хребта Ломоносова в поверхностных водах Восточно-Сибирского моря концентрации растворенного кремния растут, но остаются на пределах, лимитирующих продукционные процессы (до 9,81–11,3 мкМ). Здесь помимо речного стока, ощутимо влияние тихоокеанских вод. Концентрация кремния практически на всех станциях растет по глубине (в районах, подверженных влиянию речного стока, повышение концентраций растворенного кремния с глубиной выражено слабее, в вертикальном распределении на таких станциях имеется характерный промежуточный минимум). Наибольший градиент концентраций растворенного кремния соответствует пикноклину (рис. 3.24). Глубже следует монотонное увеличение содержания растворенного кремния по глубине (в придонных водах концентрация на всех разрезах не превышает 13 мкмоль/л).





Рисунок 3.2.11 – Распределение растворенного кремния на всех станциях (включая шельфовые)

Отчетливо выделяется вода Атлантики (концентрация кремния в пределах 4,8–5,3 мкМ), ее распределение прослеживается вдоль материкового склона (рис. 3.25). Модифицированную воду Баренцева моря отличает чуть большее содержание растворенного кремния.

Детальный анализ полученных данных требует сопоставления с остальными определяемыми биогидрохимическими и термохалинными параметрами.



Рис. 3.25. Профиль распределения растворенного кремния по 90° в.д.



### Минеральный фосфор

Содержание минерального фосфора в исследуемых районах изменялось от 0,07 мкмоль/л на поверхности до 1,06 мкмоль/л в придонных горизонтах (рис. 3.26). В вертикальном распределении фосфатов по глубине на всех станциях выделяется однородный слой (0-30 м) с низкими концентрациями минерального фосфора (0.07–0.2 мкмоль/л). Пониженное содержание фосфатов в верхнем эвфотическом слое соответствует сезонной динамике биогенных веществ и показывает, что процесс летнего потребления фитопланктоном фосфатов еще не завершен. Минимальные концентрации минерального фосфора наблюдались на станциях, расположенных над склоном. Ярко выраженный рост концентраций фосфатов с 0,2 до 0,7-0,8 мкмоль/л происходит в верхней части галоклина до глубины 100–150 м (нижняя граница галоклинных вод). В слое атлантических вод, ядро которых расположено на глубинах 250-300 м, наблюдался незначительный рост содержания минерального фосфора, при этом максимальные его величины соответствовали придонному горизонту (0,9–1,06 мкмоль/л). Такой характер вертикального распределения минерального фосфора характерен для большинства станций исследуемого района (рис. 3.27). Однако на некоторых станциях наблюдался однородный по концентрациям фосфатов слой от 250-300 м и до глубины 1000 м. Кроме того, на тех горизонтах, где отмечалось присутствие баренцевоморской прослеживалось незначительное уменьшение воды, И содержания минерального фосфора.

Наибольшая пространственная изменчивость в распределении содержания минерального фосфора прослеживается в слое от 30 до 150 м (рисунок 3.28) – до 0,2 мкмоль/л на 30 км, что связано, скорее всего, с изменчивостью вертикального положения галоклина.



Рисунок 3.2.13 – Изменчивость содержания минерального фосфора на всех станциях





Рисунок 3.2.14 – Вертикальное распределение минерального фосфора на разрезе по 125 в.д. от склона моря Лаптевых

### Органический фосфор

Содержание органического фосфора на исследуемой акватории изменялось от аналитического нуля до 0,55 мкмоль/л и, как правило, не превышало 0,5 мкмоль/л (рис. 3.28). Максимальные значения органического фосфора наблюдались в поверхностном слое, где преобладают продукционно-деструкционные процессы, и обычно составляли около 0,3 мкмоль/л. В глубинных слоях содержание органического фосфора уменьшалось до 0,1–0,2 мкмоль/л.



Рис. 3.28. Изменчивость содержания органического фосфора на всех станциях

Значительная вертикальная изменчивость в распределении органического фосфора наблюдалась в слое галоклина, где на отдельных станциях в слое 100–120 м был отмечен локальный максимум его содержания. Дальнейшие выводы о закономерностях в распределении органического вещества в водных массах различного происхождения будут возможны при наличии данных о содержании органического углерода и азота и анализе их соотношений.

### 3.3. Уровень арктических морей

Характеристика особенностей колебаний уровня арктических морей за период с июль по сентябрь 2013 года составлена по данным четырехсрочных наблюдений на 15-ти станциях, расположенных в морях Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском (таблица 3.2). В Чукотском море наблюдения за уровнем моря не производились ни на одной из станций.

Таблица 3.2.

### Полярные станции, на которых осуществлялись наблюдения за колебаниями уровня в период июль-сентябрь 2013 г.

Станция	Широта	Долгота						
Карское море								
1 им.Е.К. Фёдорова (м. Болванский Нос)	70 27 N	59 05 E						
2 Амдерма	69 45 N	61 42 E						
3 Усть-Кара	69 15 N	64 31 E						
4 о. Диксон	73 30 N	80 24 E						
5 Сопочная Карга	71 52 N	82 42 E						
6 о-ва Известий ЦИК	75 57 N	82 57 E						
7 м. Стерлегова	75 25 N	88 54 E						
море Лаптевых								
8 Анабар	73 13 N	113 30 E						
9 м. Кигилях	73 20 N	139 52 E						
10 пр. Санникова	74 40 N	138 54 E						
11 о. Котельный	76 00 N	137 52 E						
Восточно-Сибирское	море							
12 Амбарчик	69 62 N	162 30 E						
13 Певек	69 42 N	170 15 E						
14 Pay-Hya	69 30 N	166 35 E						

В юго-западной части Карского моря (рис. 3.29) на станции Амдерма за данный период колебания уровня происходили выше среднемноголетних значений (+25, +28 см), а на станциях Усть-Кара и им. Е.К. Фёдорова (м. Болванский Нос) на незначительно повышенном фоне (+3, +6 см).

Наибольший подъем уровня в юго-западной части Карского моря отмечался 13 сентября, когда уровень на станции Амдерма поднялся на 87 см, а на станции Усть-Кара на 81 см выше среднемноголетнего значения. Наиболее существенное понижение уровня на 65 см, ниже среднемноголетних значений, было зарегистрировано на станции Усть-Кара 26 сентября.





## Рис. 3.29. Колебания уровня на станциях юго-западной части Карского моря в июле – сентябре 2013 г. (1 – Амдерма, 2 – Усть-Кара, 3 – им. Е.К. Федорова (м. Болванский Нос)

В восточной части Карского моря (рис. 3.30), на станции Сопочная Карга в июле средний уровень превысил среднемноголетнее значение на 13 см, а в августе и сентябре понизился до –10 см и –5 см соответственно. На станции о. Диксон в августе и сентябре колебания уровня также происходили на пониженном фоне (–10–12 см). На станциях м. Стерлегова и о-ва Известий ЦИК средние значения уровня были близки к среднемноголетним (от –4 до 0 см).



Рис. 3.30. Колебания уровня на станциях восточной части Карского моря в июле – сентябре 2013 г. (1 – Сопочная Карга, 2 – м. Стерлегова, 3 – о-ва Известий ЦИК, 4 – Диксон)



Наиболее значительный подъем уровня в этом районе наблюдался 11 сентября 2013 г., когда на станции Сопочная Карга уровень моря был на +76 см выше среднемноголетнего значения. Наиболее существенное понижение уровня наблюдалось так же на станции Сопочная Карга 23 сентября, когда значение уровня упало на 81 см относительно среднемноголетнего значения.

В юго-западной части моря Лаптевых на станции Анабар (рис. 3.31) колебания уровня в июле происходили на слабо повышенном фоне (+2 см), в августе среднее значение уровня совпало со среднемноголетним, а в сентябре поднялось до +6 см.

Наибольший подъем уровня наблюдался 9 июля (+42 см), а наибольшее понижение уровня 3 сентября (-44 см).



### Рис. 3.31. Колебания уровня в юго-западной части моря Лаптевых (п/ст Анабар) в июле – сентябре 2013 г.

В восточной части моря Лаптевых (рис. 3.32) на станции м. Кигилях в июле фоновые колебания уровня носили слабо повышенный характер (+10 см), в августе и сентябре среднемесячные значения было меньше среднемноголетнего на 6 и 9 см, соответственно. На станции пр. Санникова в третьем квартале 2013 года, среднемесячные значения уровня превышали среднемноголетние на 12–14 см, а на станции о. Котельный колебания уровня, за весь рассматриваемый период, проходили на повышенном фоне (от +17 до +23 см).

Наибольшие подъемы уровня в этом районе отмечались 8 августа, когда уровень на станции м. Кигилях поднялся на 64 см выше среднемноголетнего значения, и на станции о. Котельный 25 сентября (+73 см). Наибольшее понижение уровня (-62 см) наблюдалось 8 сентября на станции м. Кигилях.





### Рис. 3.32. Колебания уровня на станциях восточной части моря Лаптевых в июле – сентябре 2013 г. (1 – м. Кигилях, 2 – пр. Санникова, 3 – о. Котельный)

По данным наблюдений на станции Певек (рис. 3.33) в Восточно-Сибирском море в июле и августе колебания уровня происходили на повышенном фоне (+24, +30 см). На станции Амбарчик в июле колебания уровня происходили также на повышенном фоне (+23 см), а в августе приблизился к среднемноголетнему (+5 см), в сентябре понизился до –10 см. На станции Рау-Чуа колебания уровня в августе и сентябре происходили на слабо повышенном фоне (+5, +11 см).

Наиболее значительный подъем уровня на станциях Певек и Амбарчик отмечался 23 и 24 июня, когда значения уровня поднялись на 79 см и 66 см, соответственно, а 23 августа на станции



Рау-Чуа уровень поднялся на 85 см выше среднемноголетнего значения. Наибольшее понижение уровня наблюдалось 19–20 сентября, когда уровень на станции Амбарчик понизился на 86 см относительно среднего значения, а на станции Рау-Чуа – на 143 см.



Рис. 3.33. Колебания уровня в Восточно-Сибирском море в июле - сентябре 2013 г. (1 – Амбарчик, 2 – Певек, 3 – Рау-Чуа)

#### 3.4 Ветровое волнение на акватории арктических морей

По результатам модельных расчетов была выполнена оценка повторяемости максимумов значительных высот волн (Hs – significant wave height, обеспеченность 13 %) в арктических морях России с июля по сентябрь 2013 г. Расчеты морского волнения осуществлялись с использованием спектрально-параметрической модели, разработанной в ЛО ГОИНе и модифицированной в ААНИИ. Основными исходными данными модели являлись поля атмосферного давления на уровне моря (или составляющие скорости ветра на 10-ти метровом горизонте) и температура воздуха на высоте 2 м центра Брекнелл (Великобритания, EGRR), оперативно поступающие в ААНИИ в центр коммутации сообщений (ЦКС UNIMAS) автоматизированной системы передачи данных (АСПД) Росгидромета (формат данных GRIB1). Положение кромки льда задавалось путем ежедневного усвоения спутниковых многоканальных микроволновых данных (SSM/I) по сплоченности морского льда. Расчеты проводились для морей Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Сведения о распределении высот волн Hs для этих морей приведены в таблицах 3.3–3.7.



Таблица 3.3

### Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в Баренцевом море в

Месяц	Высота волн, м								
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5-6			
Июль	1	15	11	3	1	-			
Август	2	7	13	6	3	-			
Сентябрь	-	4	13	10	2	1			
Итого	3	26	37	19	6	1			

#### третьем квартале 2013 г.

Как видно из таблицы 3.3, в третьем квартале 2013 г. на акватории Баренцева моря в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 2 до 3 м. Максимальная высота волн в этот период составила 5,0–5,5 м (00, 06 и 12 ч 26 сентября 2013 г.). Самым штормовым месяцем стал сентябрь. На рисунке 3.34, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн Нѕ на акватории Баренцева моря на 26 сентября 2013 г на 12 ч.

В Карском море (таблица 3.4) в третьем квартале 2013 г. в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 1 до 2 м. Максимальная высота волн в этот период составила 3,0–3,5 м. Волнения с высотой волн более 4 м не рассчитано. Море почти полностью очистилось ото льда к середине августа. Наиболее штормовым месяцем был сентябрь. На рисунке 3.35, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн Нѕ на акватории Карского моря на 06 ч 11 сентября 2013 г.

Таблица 3.4

# Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в Карском море в третьем квартале 2013 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0–1	1–2	2–3	3–4	
Июль	8	21	2	-	
Август	3	22	6	-	
Сентябрь	_	14	15	1	
Итого	11	57	23	1	





Рис. 3.34 Поле ветра и высот волн (Hs, м) в Баренцевом море на 12 ч UTC 26 сентября 2013 г.



Рис. 3.35. Поле ветра и высот волн (Hs, м) в Карском море на 06ч UTC 11 сентября 2013 г.



Сведения о распределении высот волн Нѕ в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском даны в таблицах 3.5 – 3.7. Как видно из таблиц 3.5 – 3.7, в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском преобладало волнение с высотами от 1 до 2 м. Во всех морях восточной Арктики наиболее штормовым месяцем был сентябрь. Наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых составила 4,0–4,5 м (11, 20 и 21 сентября), в Восточно-Сибирском море 5,0–5,5 м (20 сентября 00 и 06 ч) и в Чукотском море 5,0–5,5 м (27 сентября 00 ч). Следует отметить повышенную штормовую активность в Восточно-Сибирском море (более 5 м в сентябре). В 2011– 2012 гг. в этот период расчетные высоты волн не превышали 4 м.

Таблица 3.5

### Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в море Лаптевых в

третьем квартале 2013 г.

Месяц	Высота волн, м					
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	
Июль	10	19	2	—	_	
Август	6	12	12	1	_	
Сентябрь	_	12	12	3	3	
Итого	16	43	26	4	3	

Таблица 3.6

### Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в Восточно-Сибирском

### море в третьем квартале 2013 г.

Месяц	Высота волн, м					
	0-1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
Июль (с 20 по 31 июля)	12	_	_	-	_	_
Август	2	16	11	2	_	_
Сентябрь	-	15	9	2	3	1
Итого	14	31	20	4	3	1

Таблица 3.7

### Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в Чукотском море в

### третьем квартале 2013 г.

Месяц	Высота волн, м						
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	
Июль	3	22	6	—	—	—	
Август	3	16	12	—	—	—	
Сентябрь	—	9	3	12	5	1	
Итого	6	47	21	12	5	1	

На рисунке 3.36, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн Hs на акватории морей восточной Арктики на 06 ч 20 сентября 2013 г.





Рис. 3.36. Поле ветра и высот волн (Hs, м) в морях восточной Арктики на 06 ч UTC 20 сентября 2013 г.