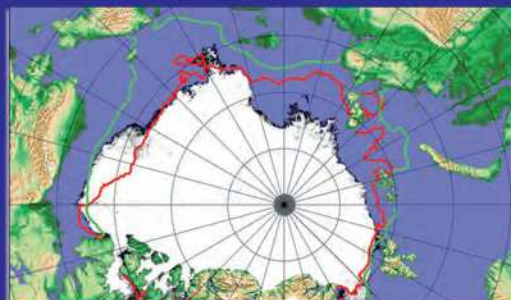


Министерство природных ресурсов и экологии РФ

Федеральная служба по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды

Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт



Санкт-Петербург
2016

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

**ОБЗОР
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ**

2015

*Под редакцией
д-ра геогр. наук, проф. И.Е. Фролова*

Санкт-Петербург
АНИИ
2016

УДК 551.5(02)(268.5)

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в 2015 г. Фактическая информация для составления обзора была получена по данным государственной наблюдательной сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, экспедиционных исследований, проводимых в рамках национальных программ, и наблюдений непосредственно на береговых станциях и НИС «Ледовая база “Мыс Баранова”».

Обзор продолжает серию ежегодных обзоров, описывающих развитие метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане.

Подписано в печать 31.03.2016
Формат 70×100 1/16
Тираж 200

Печать офсетная
Печ. л. 6,375
Заказ № 0799

Типография издательства Политехнического университета Петра Великого
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

ISBN 978-5-98364-074-0

© Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
(ГНЦ РФ ААНИИ), 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. Метеорологические условия в Северной полярной области	4
1.1. <i>В.В. Иванов, Г.А. Алексеенков, А.Я. Коржиков, Л.Ю. Рыжаков.</i> Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь — декабрь	4
1.2. <i>Е.И. Александров, В.Ф. Радионов, В.Р. Байбородова.</i> Мониторинг климата приземной атмосферы Северной полярной области	21
2. Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях	32
2.1. <i>В.П. Карклин, А.В. Юлин.</i> Развитие ледовых условий в зимний период (январь — март)	33
2.2. <i>А.В. Юлин, В.П. Карклин, Е.А. Усольцева, А.Б. Тимофеева.</i> Развитие ледовых условий в весенний период (апрель — июнь)	40
2.3. <i>С.В. Хотченков, А.В. Юлин</i> Развитие ледовых условий в летний период (июль — сентябрь)	47
2.4. <i>В.М. Смолянский, А.В. Юлин.</i> Развитие ледовых условий в осенний период (октябрь — декабрь)	54
2.5. <i>Ю.В. Налимов, А.А. Степанова, Н.Л. Корельская.</i> Ледово-гидрологические процессы в устьевых областях рек	62
3. Гидрологические и гидрохимические условия в Северном Ледовитом океане и его морях	73
3.1. <i>М.С. Махотин, Н.В. Лебедев, В.Ю. Карпий, Л.А. Тимохов.</i> Термохалинные условия	73
3.2. <i>А.Е. Новихин, А.Л. Никулина, Н.А. Маркова.</i> Гидрохимические условия	80
3.3. <i>И.М. Ашик, И.В. Рыжов.</i> Уровень арктических морей	87
3.4. <i>В.И. Дымов, Н.П. Яковлева.</i> Ветровое волнение на акватории арктических морей	93
Заключение	100

1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

В.В. Иванов, Г.А. Алексеенков, А.Я. Коржииков, Л.Ю. Рыжаков

1.1. МОНИТОРИНГ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЯРНОМ РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗА ПЕРИОД ЯНВАРЬ — ДЕКАБРЬ

В настоящем разделе приводятся основные результаты мониторинга развития атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба и связанных с ними изменений метеорологических условий в полярном районе Северного полушария за период с января по декабрь 2015 г.

Полярный район является крайне сложным по метеорологическим условиям. Процессы в этом районе находятся в тесной взаимосвязи с развитием и перестройкой процессов общей циркуляции атмосферы (ОЦА), т.е. процессов значительно более крупного масштаба, чем рассматриваемый район.

Полярный район находится под влиянием трех естественных синоптических районов. На него оказывают влияние основные центры действия атмосферы: на западе, в атлантико-евразийском секторе полушария, — исландский минимум и азорский максимум, азиатский циклон летом и антициклон зимой; на востоке, в тихоокеано-американском секторе, — алеутский минимум и гавайский максимум.

При анализе и диагнозе крупномасштабных процессов 2015 г. учитывались основные элементы ОЦА: местоположение центра планетарного циркумполярного вихря на 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. Данные элементы ОЦА крайне важны при анализе развития и перестройки атмосферных процессов в течение года и оценке метеорологических процессов в отдельных районах Арктики.

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. В соответствии с данной классификацией для атлантико-евразийского сектора выделяются три основных состояния атмосферы: зональные процессы с термобарическими волнами малой амплитуды — *W* (западная) форма циркуляции, а также два типа меридиональных процессов с волнами большой амплитуды — *C* (меридиональная) и *E* (восточная) формы циркуляции. Соответственно во втором, тихоокеано-американском секторе выделяются также три типа процессов — западный *З* и меридиональные *M*₁ и *M*₂.

Каждая из форм и типов имеет ряд разновидностей, отражающих перестройку от одного макропроцесса к другому. Разновидности макропроцессов на полушарии имеют значимые различия в направленности крупномасштабных атмосферных процессов и

состоянии 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 системах исландского и алеутского минимумов.

Для анализа макросиноптических процессов межгодовой изменчивости и их влияния на развитие гидрологических процессов в океане также использовался индекс арктической осцилляции. Индекс отражает состояние циркумполярного вихря (ЦПВ) и связанных с ним преобладающих зональных потоков воздушных масс. Поскольку индекс характеризует интенсивность воздушных потоков, осредненных по большому району, то в ряде случаев он не отражает географическую ориентацию центра ЦПВ и положение высотной фронтальной зоны (ВФЗ), по которой смещаются фронтальные циклоны и антициклоны. В связи с этим в настоящем обзоре применение индекса ограничено использованием его в анализе межгодовой изменчивости атмосферных и гидрологических условий в Арктике.

Реальное состояние циркуляции в атмосфере и метеорологические условия каждого конкретного года существенно отличаются как друг от друга, так и от среднего многолетнего состояния (нормы). Развитие процессов каждого года указывает на существование большого числа вариантов конкретных реализаций ОЦА. Несмотря на сложность взаимосвязей между элементами макроструктуры, множественность их возможных состояний и сочетаний, всегда имеется возможность выявить в эволюции макросиноптических процессов ряд существенных особенностей, определяющих тенденцию их развития. В результате мониторинга процессов различного пространственно-временного масштаба с января по декабрь 2015 г. были выявлены следующие особенности их развития.

Фоновые особенности развития атмосферных процессов в 2015 г. представлены в виде годовых и среднемесячных значений числа дней с основными формами и типами циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма — А.А. Гирса (табл. 1.1.1 и рис. 1.1.1, 1.1.2), а также карт среднегодовых полей геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, приземных значений давления и температуры воздуха и их аномалий (рис. 1.1.3 – 1.1.7).

Таблица 1.1.1

**Годовые значения числа дней с формами и типами циркуляции
и их отклонения от нормы в 2015 г.**

Показатель	Индексы циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	W	C	E	3	M ₁	M ₂
Число дней	145	89	121	56	157	152
Аномалия	18	–4	–14	–73	57	16

В *первом секторе* Северного полушария в течение 2015 г. отмечались частые перестройки в направленности развития крупномасштабных атмосферных процессов (см. рис. 1.1.1). В целом за год наибольшую повторяемость имели процессы западной (W) формы циркуляции. Число дней с данной формой по сравнению с 2014 г. значительно увеличилось (на 51 день) и превысило многолетнюю норму на 18 дней.

Во *втором секторе* в целом за 2015 г. аномально высокую повторяемость имели меридиональные процессы типов M₁ и M₂, она превысила многолетнюю норму соответственно на 57 и 16 дней. Наибольшая повторяемость процессов типа M₁ отмечалась в период апрель — декабрь. Число дней с данной формой по сравнению

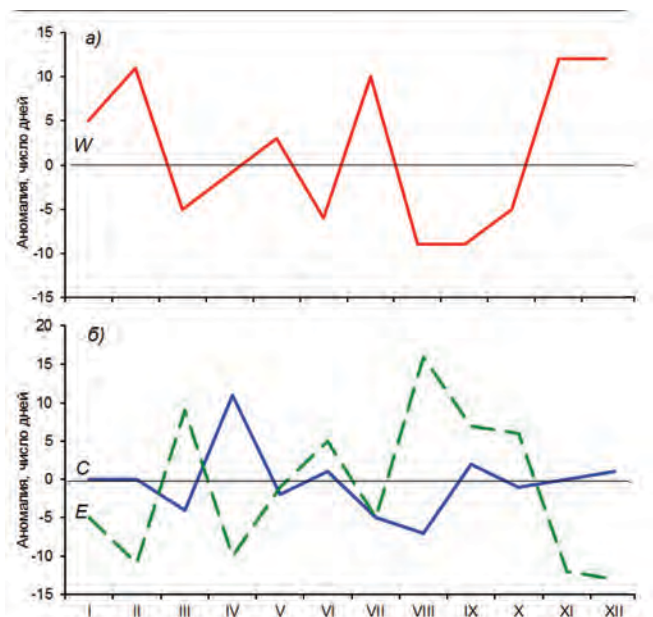


Рис. 1.1.1. Годовой ход среднемесячной аномалии числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в атлантико-евразийском секторе в 2015 г. W — западная (зональная) форма, C — меридиональная форма, E — восточная (меридиональная) форма.

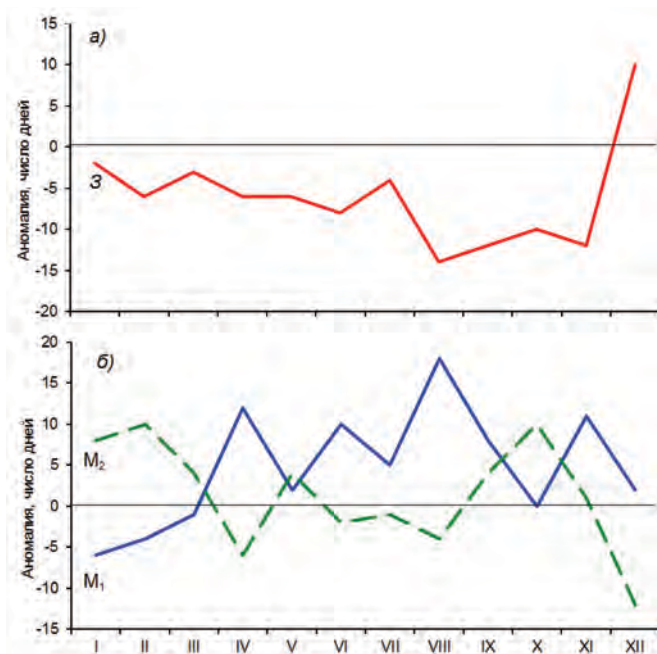


Рис. 1.1.2. Годовой ход среднемесячной аномалии числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в тихоокеано-американском секторе в 2015 г. З — зональная форма, M₁ — первая меридиональная форма, M₂ — вторая меридиональная форма.

с 2014 г. значительно увеличилось и превысило прошлогоднее значение на 61 день. В периоды январь — март и сентябрь — ноябрь часто преобладала разновидность меридиональных процессов типа M_2 .

Зональные процессы во всех месяцах периода с января по ноябрь были устойчиво ниже нормы и превысили средние многолетние значения только в декабре.

В средней тропосфере, на изобарической поверхности 500 гПа, центр планетарного циркумполярного вихря в мае, сентябре и ноябре находился в приполюсном районе, вблизи своего многолетнего положения. В период январь — апрель, в октябре и декабре его основной центр чаще формировался над Канадой, в июне и июле — в западном секторе полярного района Арктики, в августе — над восточным ее сектором.

Под влиянием длинных термобарических волн на периферии высотного полярного вихря от месяца к месяцу происходило изменение его структуры, системы тропосферных ПВФЗ и траекторий циклонов в системе исландского и алеутского минимумов. Так, в атлантико-евразийском и тихоокеано-американском секторах полушария ВФЗ в 2015 г. располагалась чаще севернее своего многолетнего положения. В результате смещение циклонов в системах исландского и алеутского минимумов в полярный район Арктики происходило чаще по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям.

Среднегодовые значения геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа и его аномалии представлены на рис. 1.1.3 и 1.1.4.

В приземном поле в 2015 г. фон давления в районе исландского минимума был ниже нормы. Среднегодовая отрицательная аномалия давления в районе Исландии



Рис. 1.1.3. Поле среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2015 г.

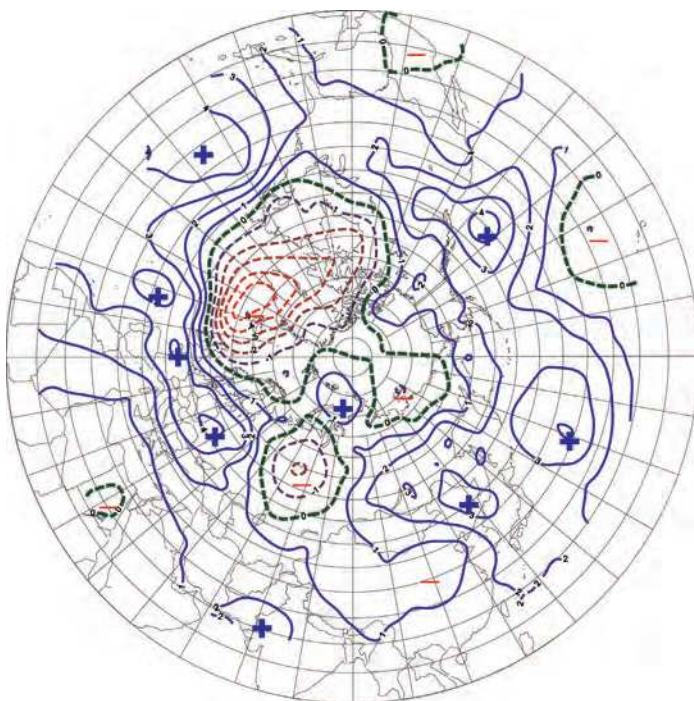


Рис. 1.1.4. Поле средней аномалии геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2015 г.

составила 4 гПа. Центр исландского минимума располагался чаще в районе своего среднего многолетнего положения, и его генеральная ложбина была ориентирована через Баренцево и Карское моря на континентальную часть Европы и Западной Сибири, где отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность. Здесь преобладали значения с отрицательными аномалиями давления (рис. 1.1.5).

В 2015 г. циклоны в системе исландского минимума смещались в Арктику в основном по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям; исключение — январь, май, июль и август, когда под влиянием гребней арктического антициклона преобладали низкоширотные траектории циклонов.

При усилении циклонической деятельности в полярном районе в 2015 г. по сравнению с 2014 г. знак среднегодовой аномалии давления в Арктике сменился на противоположный — от положительных значений к отрицательным (рис. 1.1.6). Среднегодовое падение давления по сравнению с прошлым годом составило по отдельным районам от 2 до 5 гПа.

Наиболее активная циклоническая деятельность в полярном районе в 2015 г. при высокоширотных траекториях циклонов в системах исландского и алеутского минимумов отмечалась над западными морями: Норвежским, Гренландским, Баренцевым и юго-западной частью Карского моря, а также над восточными морями: Чукотским и Бофорта.

Преобладание в 2015 г. высокоширотных траекторий циклонов способствовало сохранению характерной для текущей циркуляционной стадии развития крупномасштабных атмосферных процессов адвекции теплых воздушных масс в полярном

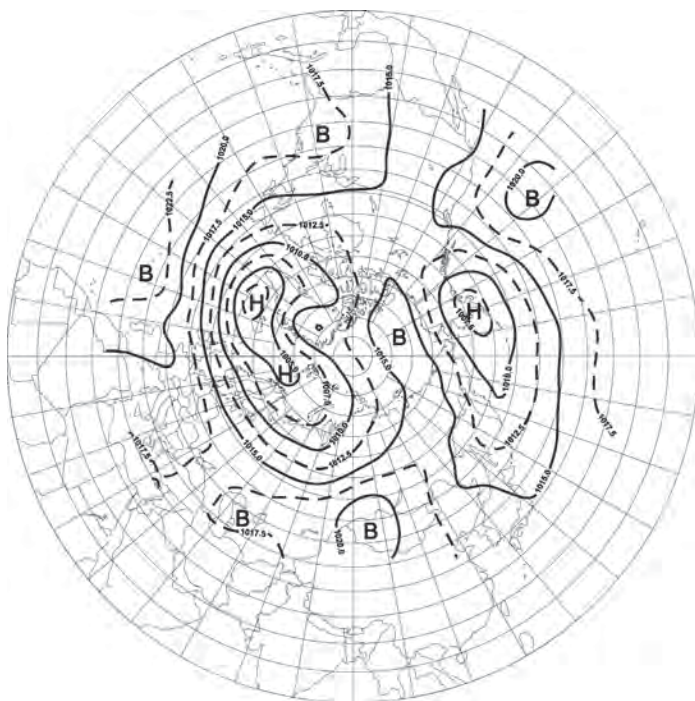


Рис. 1.1.5. Поле среднего приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2015 г.

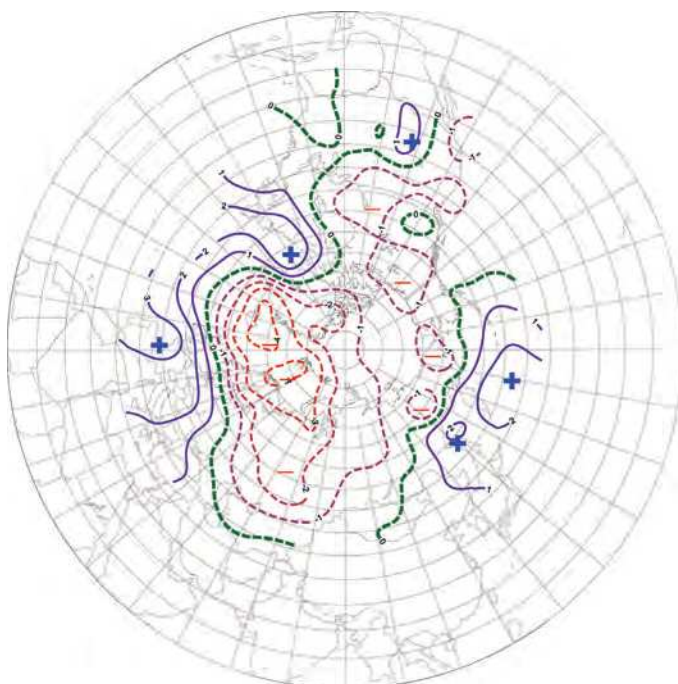


Рис. 1.1.6. Поле средней аномалии приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2015 г.

районе Арктики и формированию температурного фона с положительными аномалиями температуры воздуха.

Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха в 2015 г. отмечались в районах Гренландии и Канады, где среднее годовое значение аномалии составило более 5 °C (рис. 1.1.7). Эти районы внесли наибольший вклад в формирование аномально высокого температурного фона полярного района

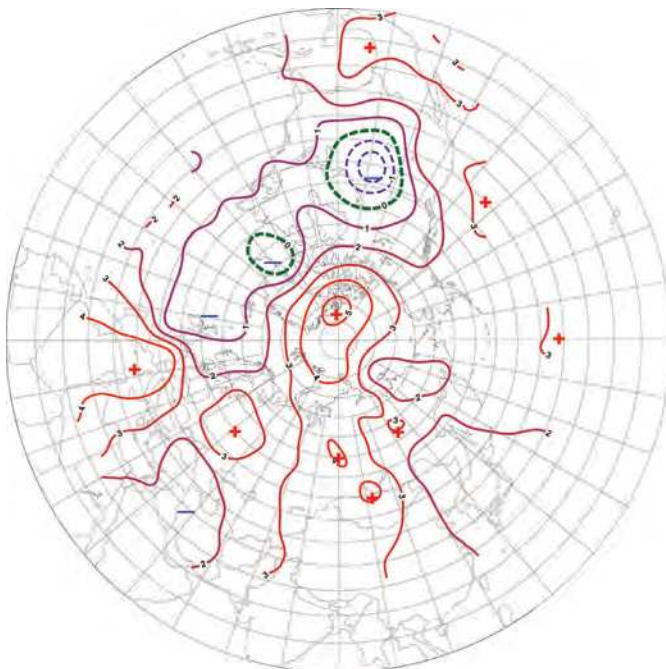


Рис. 1.1.7. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха (°C) за период январь — декабрь 2015 г.

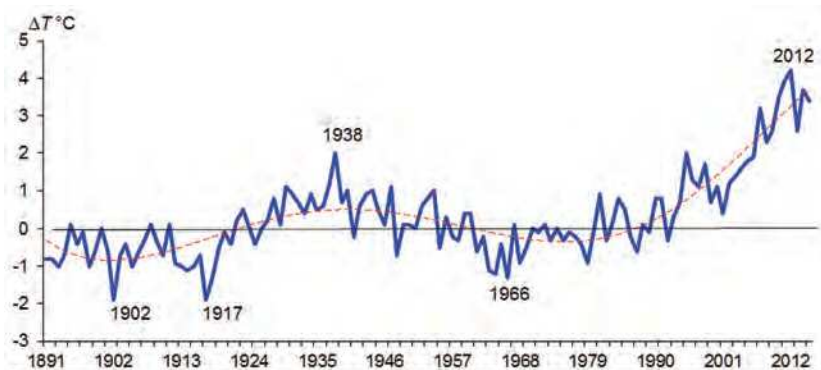


Рис. 1.1.8. Средние годовые аномалии температуры воздуха (°C) в широтном поясе 70–85° с.ш. (1891–2015 гг.).

в 2015 г. В среднем по полярному району аномалия температуры воздуха в 2015 г. составила 3,4 °С, что на 0,2 °С меньше по сравнению с 2014 г., и на 0,8 °С меньше экстремального значения, ранее наблюдавшегося в 2012 г. (рис. 1.1.8).

Незначительное понижение температурного фона в 2015 г. в западном и восточном секторах Арктики произошло из-за увеличения в ряде месяцев года повторяемости числа дней с низкоширотными траекториями циклонов по сравнению с 2014 г.

Это сказалось на интенсивности адвекции теплых воздушных масс в полярный район Арктики. Наиболее значительное изменение температурного фона по сравнению с 2014 г. отмечалось в районах морей Восточно-Сибирского, Чукотского и Бофорта, где среднегодовые значения температуры воздуха понизились на 1–2 °С.

Структурный анализ внутригодовых и внутримесячных особенностей развития атмосферных процессов в 2015 г. проводился по комплексу метеорологических характеристик (форма, тип циркуляции и их разновидности, 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 развития процессов показал, что в течение 2015 г. от месяца к месяцу отмечались частые изменения направленности развития крупномасштабных атмосферных процессов. Внутри года выделяется ряд стадий с однонаправленным развитием процессов, каждая из которых характеризуется рядом разновидностей форм и типов циркуляции атмосферы в атлантико-евразийском и тихоокеано-американском секторах Северного полушария.

Схема развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов в Северном полушарии с января по декабрь 2015 г. по среднемесячным данным выглядит следующим образом:

январь — W_{M_2} → февраль — W_{M_2} → март — E_{M_2} →
 → апрель — C_{M_1} → май — $W_{(M_2+M_1)}$ → июнь — $E_{(M_1+M_2)}$ →
 → июль — W_{M_1} → август — E_{M_1} → сентябрь — $(E+C)_{(M_1+M_2)}$ →
 → октябрь — E_{M_2} → ноябрь — $W_{(M_1+M_2)}$ → декабрь — W_3

На рис. 1.1.9 изменения средних месячных значений давления в полярном районе Арктики от месяца к месяцу представлены отдельно для европейского и американского секторов Арктики.

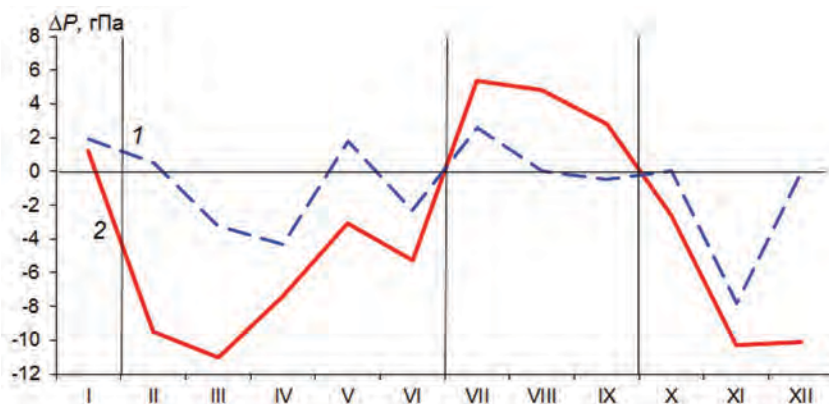


Рис. 1.1.9. Интегральные кривые среднемесячных значений аномалий давления в период январь — декабрь 2015 г. в европейском (1), и американском (2) секторах полярного района Арктики.

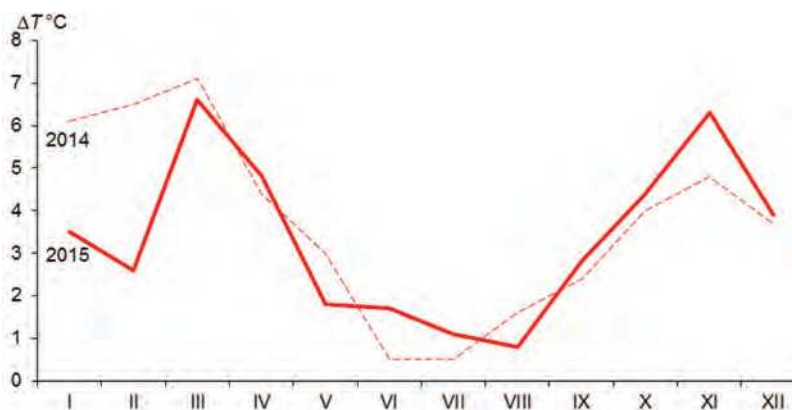


Рис. 1.1.10. Годовой ход среднемесячных значений аномалии температуры воздуха (°C) в широтном поясе 70 – 85° с.ш. в 2014 и 2015 гг.

В тенденциях изменения давления и температуры воздуха в полярном районе Арктики выделяется четыре периода.

В периоды январь, июль — сентябрь полярный район Арктики находился под влиянием арктического антициклона, что обусловило формирование фона давления выше нормы. В периоды февраль — июнь и октябрь — декабрь полярный район Арктики чаще находился под влиянием циклонов с Северной Атлантики и Тихого океана, что обусловило формирование фона давления ниже нормы.

Внутригодовые изменения среднемесячных значений аномалии температуры воздуха в Арктике в широтном поясе 70–85° с.ш. в январе — декабре 2015 г. представлены на рис. 1.1.10.

Во все месяцы 2015 г. преобладал фон температуры выше нормы. Наибольшие положительные значения аномалии отмечались под влиянием циклонов с Северной Атлантики в холодные месяцы года. Наименьшие аномалии наблюдались в июле и августе под влиянием арктического антициклона и низкоширотных траекторий циклонов.

По сравнению с 2014 г. наибольшее повышение температуры воздуха наблюдалось в ноябре, а наибольшее понижение — в январе и феврале. Основные внутригодовые тенденции изменения температурного фона в полярном районе в 2015 г. близки к соответствующим характеристикам 2014 г. (см. рис. 1.1.10).

Отмеченные тенденции изменения фона температуры воздуха в течение 2015 г. в целом согласуются со сменой направленности крупномасштабных атмосферных процессов, обусловленных различными траекториями фронтальных циклонов и преобладающим направлением воздушных потоков в полярный район Арктики. Так, усилению адвекции теплых воздушных масс и увеличению значений положительных аномалий температуры воздуха в 2015 г. способствовало в первую очередь повышение повторяемости циклонов с более высокоширотными траекториями и усиление меридионального воздухообмена между низкими и высокими широтами Северного полушария.

Более подробно основные особенности развития и перестройки синоптических процессов в каждом месяце 2015 г. описаны ниже.

В **январе** полярный район находился под влиянием высотного гребня антициклона, под которым в приземном поле сформировался антициклонический режим

циркуляции. Вследствие этого циркумполярный вихрь на изобарической поверхности 500 гПа имел два центра. Один располагался в район Канады и второй — над районом Таймыра.

В *первом (атлантико-евразийском)* секторе отмечалась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов западной формы циркуляции. Под влиянием гребня арктического антициклона циклоны в системе исландского минимума смещались по низкоширотным траекториям по континентальной части Евразии. Фон давления в приполюсном районе и в районе Баренцева моря был выше нормы на 2 гПа. Воздушные потоки преимущественно южных направлений обусловили адвекцию теплых воздушных масс в Арктику. Фон температуры был выше нормы. Исключением явился район юго-восточной части Баренцева моря и юго-западной части Карского моря, где преобладали воздушные потоки северо-восточного и юго-восточного направлений. Фон температуры воздуха был ниже нормы на 2–4 °С.

Во *втором (тихоокеано-американском)* секторе аномально повышенную повторяемость имели крупномасштабные процессы типа M_2 . Характерной особенностью развития макропроцессов было усиление арктического антициклона и влияние его гребня на Берингово море. Вследствие этого циклоны в системе алеутского минимума смещались по более низкоширотным по сравнению с нормой траекториям и не оказывали существенного влияния на полярный район Арктики. Фон давления был выше нормы. В теплой части антициклона преобладала адвекция теплых воздушных масс. Температурный фон был выше нормы на 4–6 °С.

В *феврале* произошла перестройка высотного поля над полярным районом от антициклонической циркуляции к циклонической. Центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа располагался в районе северной части Гренландии. Две его генеральные ложбины были ориентированы на Северную Америку и Восточную Сибирь. Преобладающие воздушные потоки в средней тропосфере в первом секторе полушария были направлены в зональном направлении, а во втором секторе под влиянием высотного гребня гавайского антициклона — в меридиональном направлении.

В *первом секторе* сохранилась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов западной формы циркуляции — разновидностей с высокоширотными траекториями циклонов Северной Атлантики в приполюсный район Арктики. Знак аномалии давления по сравнению с январем сменился на противоположный. Среднемесячное значение отрицательной аномалии давления достигало в приполюсном районе 12 гПа.

При устойчивых в течение месяца воздушных потоках западного и юго-западного направлений фон температуры воздуха был выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 5–7 °С) отмечались над континентальной частью Европы. В западной части Арктики значения аномалии температуры составили 2–3 °С.

Во *втором секторе* направленность крупномасштабных процессов при аномально высокой повторяемости типа M_2 сохранилась. Отличием явилось усиление гребней азиатского и американского антициклонов. Фон температуры воздуха по сравнению с январем понизился на 2–4 °С.

В *марте* произошла перестройка высотного поля над полярным районом Арктики. Приполюсный район находился под влиянием высотных гребней.

Циркумполярный вихрь на изобарической поверхности 500 гПа имел два центра. Один располагался в районе моря Баффина, другой — над районом Таймыра. В этих районах в приземном поле отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность.

В *первом секторе* произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от западной к восточной форме циркуляции. Континентальная часть Европы находилась под влиянием высотного гребня, под которым в приземном поле преобладал антициклонический режим циркуляции и погоды.

Вследствие этого циклоны с Северной Атлантики смещались в Арктику по высокоширотным траекториям через акваторию морей Баренцева, Карского и Лаптевых.

Фон давления в районе Карского моря был значительно ниже нормы: аномалия составила в среднем за месяц более 14 гПа. При воздушных потоках южных направлений фон температуры воздуха по сравнению с январем и февралем значительно повысился. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 10 °С) отмечались в районе Карского и Баренцева морей.

Во *втором секторе* направленность крупномасштабных процессов сохранилась при аномально высокой повторяемости меридиональных процессов типа циркуляции M_2 . Отличие заключалось в том, что под влиянием глубоких циклонов с запада произошло ослабление интенсивности арктического антициклона и понижение давления от положительных до отрицательных аномалий. При усилении адвекции теплых воздушных масс фон температуры повысился на 3–5 °С.

В *апреле* центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа располагался в районе северной части Гренландии. Основная ложбина была ориентирована на западный сектор Арктики; под ней в приземном поле отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность. Восточный сектор часто находился под влиянием высотных блокирующих гребней азиатского и американского континентальных антициклонов.

В *первом секторе* произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от восточной формы циркуляции к меридиональной. На Северную Атлантику распространялось влияние гребня азорского антициклона, и циклоны смещались в Арктику по высокоширотным траекториям до акватории Баренцева моря и далее на континентальную часть Восточной Европы. Фон давления в секторе был ниже нормы на 4–6 гПа.

При воздушных потоках южных направлений сформировался фон температуры воздуха выше нормы. Наиболее устойчивые крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 9 °С) отмечались в районе Карского моря.

Во *втором секторе* произошла перестройка атмосферных меридиональных процессов от типа M_2 к типу M_1 . Циклоны в системе алеутского минимума смещались по высокоширотным траекториям через Аляску и далее в меридиональном направлении на континентальную часть Америки. Под их влиянием в данном секторе Арктики отмечалась высокая повторяемость понижения фона давления до отрицательных аномалий. Воздушные потоки восточного и юго-восточного направлений обусловили адвекцию теплых воздушных масс и формирование положительных аномалий температуры воздуха, равных 4–6 °С.

В *мае* произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от меридиональной формы циркуляции к западной. Центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа сместился от Гренландии в приполюсный район. Основные ложбины были ориентированы на западный сектор Арктики и район Восточной Сибири. Восточный сектор Арктики часто находился под влиянием высотного гребня блокирующих гребней американского и гавайского антициклонов, под которыми в приземном поле сформировался устойчивый антициклон.

В *первом секторе* отмечалась повышенная повторяемость зональных процессов западной формы циркуляции. Циклоны в системе исландского минимума смещались по низкоширотным траекториям до акватории Карского моря. Фон давления в западном секторе был ниже нормы на 4–6 гПа. Воздушные потоки преимущественно южных направлений обусловили адвекцию теплых воздушных масс в Арктику. Фон температуры воздуха был выше нормы. Наиболее высокие значения положительных аномалий температуры (до 5–7 °С) отмечались в юго-восточной части Баренцева моря и юго-западной части Карского моря.

Во *втором секторе* аномально повышенную повторяемость имели меридиональные процессы. Выходы циклонов в системе алеутского минимума в полярный район Арктики были блокированы гребнями арктического и гавайского антициклонов. Фон давления был выше нормы. Направление воздушных потоков было неустойчивым. Фон температуры воздуха был выше нормы и по сравнению с апрелем понизился на 2–5 °С.

В *июне* произошла перестройка высотного поля на изобарической поверхности 500 гПа. Основной центр циркумполярного вихря сместился из приполюсного района в европейский сектор Арктики, где в приземном поле отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность.

В *первом секторе* произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от западной формы циркуляции к восточной. Под влиянием на континентальную часть Евразии гребней азорского и континентального антициклонов циклоны смещались над акваторией Баренцева и Карского морей. Фон давления в секторе был ниже нормы на 2–6 гПа.

При устойчивых во времени воздушных потоках южных направлений сформировался фон температуры воздуха значительно выше нормы. Наиболее устойчивые крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 6 °С) отмечались над юго-западной частью Карского моря.

Во *втором секторе* аномально повышенную повторяемость имели разновидности меридиональных процессов. На район над акваторией Тихого океана оказал влияние устойчивый гребень гавайского антициклона, и циклоны в системе алеутского минимума смещались по высокоширотным траекториям в полярный район Арктики. Фон давления был ниже нормы на 4–6 гПа. Преобладали воздушные потоки юго-западного направления. Положительный фон температуры воздуха по сравнению с маем понизился на 1–2 °С.

В *июле* центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа сместился в южном направлении в район юго-восточной части Баренцева моря. Высотная фронтальная зона располагалась над континентальной частью Евразии, и в этом районе отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность. Полярный район находился под влиянием высотного гребня, под которым в приземном поле сформировался обширный антициклон.

В *первом секторе* произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от разновидностей меридиональных форм циркуляции к зональной — западной форме. Под влиянием арктического антициклона циклоны с Северной Атлантики сериями смещались по низкоширотным траекториям вдоль континентальной части Евразии.

Фон давления в данном секторе Арктики был значительно выше нормы: аномалия составила 8–10 гПа.

При устойчивых воздушных потоках юго-восточного направления в районе Карского моря сформировались положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 3–4 °С). Отрицательные аномалии температуры воздуха преобладали в районе морей Норвежского, Лаптевых и южной части Баренцева при северо-восточном направлении воздушных потоков.

Во *втором секторе*, так же как и в июне, преобладали меридиональные процессы типа M_1 .

Отличие заключалось в том, что выходы циклонов в полярный район были блокированы устойчивым гребнем арктического антициклона. Вследствие этого аномалии фона давления сменили знак с отрицательного на положительный.

Воздушные потоки юго-западных направлений обусловили адвекцию теплых воздушных масс и формирование аномалий температуры на 1–3 °С выше нормы.

В *августе* произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от западной формы циркуляции к восточной. Центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа сместился из западного сектора Арктики в восточный. Европа и полярный район находились под влиянием высотного гребня. В данных районах в приземном поле сформировались устойчивые антициклоны.

В *первом секторе* отмечалось крайне устойчивое развитие процессов восточной формы циркуляции атмосферы. Повторяемость данной формы за месяц составила 28 дней, что больше нормы на 16 дней. Под влиянием гребней континентального и арктического антициклонов выход циклонов Северной Атлантики в полярный район был блокирован. Фон давления в западном секторе превышал норму на 4–8 гПа. Воздушные потоки были неустойчивыми по направлению. Фон температуры воздуха был выше нормы на 1–2 °С.

Во *втором секторе* направленность крупномасштабных процессов сохранилась. Отмечалось устойчивое преобладание процессов типа M_1 в течение всего месяца.

Отличие по сравнению с предыдущим месяцем заключалось в активизации циклонической деятельности в районе моря Бофорта и изменении здесь фона давления от положительных значений аномалий давления до отрицательных.

В *сентябре* основной центр циркумполярного вихря сместился в приполюсный район, где в приземном поле отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность.

В *первом секторе* произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов. Под влиянием на континентальную часть Евразии гребней азорского и континентального антициклонов циклоны в системе исландского минимума смещались по высокоширотным траекториям в полярный район Арктики. Фон давления в приатлантическом районе превышал норму. В приполюсном районе был ниже нормы.

При устойчивых во времени воздушных потоках юго-западного и западного направлений сформировался фон температуры воздуха выше нормы.

Во *втором секторе* аномально повышенную повторяемость имели разновидности меридиональных процессов. Под влиянием на область над акваторией Тихого океана устойчивого гребня гавайского антициклона циклоны в системе алеутского минимума смещались по высокоширотным траекториям в полярный район Арктики. Фон давления был около нормы. Преобладали воздушные потоки восточных направлений. Положительная аномалия температуры воздуха составила от 0 до 3 °С.

В *октябре* центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа сместился из приполюсного района к Канаде. Основная ложбина вихря была ориентирована на море Лаптевых. Ось высотного блокирующего гребня располагалась над Европой, где в приземном поле сформировался устойчивый высокий антициклон.

В *первом секторе* сохранились разновидности восточной формы циркуляции. Под влиянием антициклона над Европой циклоны с Северной Атлантики сериями смещались по высокоширотным траекториям в западный сектор Арктики.

Фон давления в данном секторе Арктики был ниже нормы со значениями аномалий 4–6 гПа.

При устойчивых воздушных потоках юго-западного и юго-восточного направлений сформировались положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха. Наибольшие значения аномалий (до 10–12 °С) отмечались в районе Канады.

Во *втором секторе* усилились меридиональные процессы типа M_2 . Блокирующий гребень гавайского антициклона сместился на восток — на континентальную часть Америки. Вследствие этого усилилась циклоническая деятельность в районе алеутского минимума. Под его влиянием преобладала адвекция теплых воздушных масс в Арктику. Фон температуры воздуха повысился на 3–4 °С.

В *ноябре* произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от восточной формы циркуляции к западной. Центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа сместился в приполюсный район, и его генеральная ложбина сместилась к востоку — на район Чукотки. ВФЗ была ориентирована в зональном направлении. Активизировалась циклоническая деятельность в районе Северной Атлантики и Европы.

В *первом секторе* отмечалось крайне устойчивое развитие процессов западной формы циркуляции атмосферы. Повторяемость данной формы циркуляции за месяц составила 23 дня, что больше нормы на 12 дней. Под влиянием глубоких циклонов с Северной Атлантики фон давления в данном секторе понизился до отрицательных значений аномалии 8–10 гПа.

Воздушные потоки западного и юго-западного направлений обусловили устойчивую адвекцию теплых воздушных масс с Атлантики в полярный район Арктики. Фон температуры воздуха по сравнению с октябрём повысился на 6–8 °С. Наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха отмечались над северо-восточной частью Карского моря (более 10 °С).

Во *втором секторе* отмечалась устойчивая повторяемость в течение всего месяца меридиональных процессов типов M_1 и M_2 . Особенностью процессов данного месяца стало дальнейшее углубление алеутского минимума и влияние его циклонов на восточный сектор Арктики. Усиление меридиональных потоков с южной составляющей способствовало дальнейшему повышению температурного фона в данном районе Арктики до устойчивых положительных аномалий температуры.

В *декабре* в Северном полушарии преобладали зональные процессы. Центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа сместился из приполюсного района к Канаде. Его генеральная ложбина сместилась с востока в западный сектор Арктики. Активизировалась циклоническая деятельность в системе исландского и алеутского минимумов. Глубокие циклоны по ВФЗ сериями смещались в зональном направлении.

В *первом (атлантико-евразийском)* секторе отмечалось крайне устойчивое развитие процессов западной формы циркуляции атмосферы. Повторяемость данной формы циркуляции за месяц составила 22 дня, что больше нормы на 12 дней.

Глубокие циклоны с Северной Атлантики по сравнению с ноябрем смещались по более южным траекториям вдоль континентальной части Евразии. Наибольшие значения отрицательных аномалий давления (14–15 гПа) в западном секторе Арктики в декабре отмечались над Баренцевым морем.

Фон температуры воздуха по сравнению с ноябрем понизился на 3–4 °С. Наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха сформировались над юго-западной частью Карского моря (более 8 °С).

Во *втором секторе* произошла крупномасштабная перестройка атмосферных процессов от меридионального типа циркуляции к зональному.

При отсутствии устойчивых блокирующих гребней над Тихим океаном циклоны сериями быстро смещались в восточном направлении на Американский континент. Тыловая часть проходящих циклонов чаще была ориентирована на восточные моря российской Арктики, где при воздушных потоках с северной составляющей сформировались отрицательные аномалии температуры со значениями 1–3 °С.

Проведенный анализ развития и перестроек атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба показал, что характерный для текущей циркуляционной стадии развития атмосферных процессов высокий температурный фон с преобладанием положительных аномалий температуры воздуха в 2015 г. сохранился и после экстремально высокого фона в 2012 г. имеет тенденцию к понижению.

В районе Арктических морей положительный фон температуры воздуха также сохранился. Тенденции изменений среднегодовых значений аномалий температуры воздуха в 2015 г. для акваторий морей российской Арктики в сравнении с 2014 г. приводятся на рис. 1.1.11.

В 2015 г. наиболее высокие положительные аномалии температуры воздуха отмечались в районе западных морей — Баренцева и Карского, а низкие — в районе восточных морей — Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского.

По сравнению с предшествующим годом наблюдалось повышение температурного фона над Баренцевым и Карским морями (на 1 °С). Выше отмечалось, что в 2015 г. наиболее частые и устойчивые повышения температуры воздуха выше многолетней нормы наблюдались в данных районах в периоды март — апрель (на 8–9 °С) и ноябрь — декабрь (на 5–7 °С)

В районе морей Лаптевых, Чукотском и Восточно-Сибирском температурный фон в 2015 г. оказался ниже, чем в 2014 г., на 1–2 °С. Наибольшее понижение температуры до отрицательных аномалий 2,0 °С отмечалось в марте в Чукотском и в декабре в Восточно-Сибирском море.

Анализ структурных особенностей циркуляции атмосферы внутри каждого месяца в 2015 г. проводился по естественным стадиям однонаправленного развития

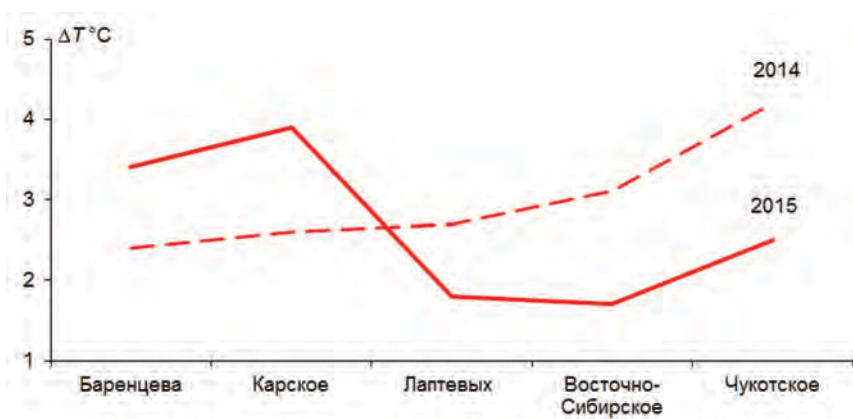


Рис. 1.1.11. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (°C) над акваторией арктических морей Евразии в 2014 и 2015 гг.

процессов — по 26 разновидностям элементарных синоптических процессов (ЭСП) атлантико-евразийского сектора Северного полушария, процессы которого являются определяющими для перестройки циркуляции атмосферы в полярном районе Арктики.

Анализ показал, что для каждого месяца характерна большая повторяемость перестройки процессов. Переходы от одного ЭСП к другому сопровождались сменой знака барических полей и направления преобладающих воздушных потоков в полярном районе Арктики и были обусловлены крупномасштабной перестройкой разновидностей атмосферных процессов в двух секторах Северного полушария. Основные разновидности основных форм циркуляции в атлантико-евразийском секторе полушария с типами циркуляции в тихоокеано-американском секторе полушария для каждого ЭСП с января по декабрь 2015 г. представлены в табл. 1.1.2.

Таблица 1.1.2

Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма — Гирса с января по декабрь 2015 г. с внутримесячной детализацией атмосферных процессов по элементарным синоптическим процессам

Январь			Февраль			Март		
ЭСП	А–Е	Т–А	ЭСП	А–Е	Т–А	ЭСП	А–Е	Т–А
1	W	M ₂	1–3	E	M ₂	1–5	E	M ₁
2–3	W	M ₂	4–6	C	M ₂	6–10	W	M ₂
4–5	C	M ₂	7–9	C	M ₂	11–13	E	M ₂
6–8	E	M ₂	10–12	W	M ₂	14–15	E	3
9–12	W	M ₂	13–15	W	M ₂	16–18	E	M ₂
13–16	W	M ₂	16–17	E	M ₂	19–22	C	M ₂
17–18	W	M ₂	18–20	W	M ₂	23–25	E	M ₂
19–22	C	3	21–23	W	M ₂	26–28	E	3
23–26	W	3	24–25	W	M ₂	29–31	E	3
27–30	E	M ₂	26–28	W	M ₂			
31	E	M ₂						
Итого	W 17 (5) C 6 (0) E 8 (–5)	3 6 (–2) M ₁ 0 (–6) M ₂ 25 (8)	Итого	W 20 (11) C 6 (0) E 2 (–11)	3 0 (–6) M ₁ 0 (–4) M ₂ 28 (10)	Итого	W 5 (–5) C 4 (–4) E 22(9)	3 8 (–2) M ₁ 5 (–1) M ₂ 18 (3)

Апрель			Май			Июнь		
ЭСП	А–Е	Т–А	ЭСП	А–Е	Т–А	ЭСП	А–Е	Т–А
1–3	<i>C</i>	M_1	1–3	<i>W</i>	3	1–4	<i>E</i>	M_1
4–6	<i>E</i>	M_1	4–7	<i>E</i>	M_1	5–7	<i>C</i>	M_1
7–10	<i>C</i>	M_2	8–10	<i>W</i>	M_1	8–11	<i>W</i>	M_1
11–15	<i>W</i>	3	11–13	<i>E</i>	M_1	12–13	<i>C</i>	M_1
16–18	<i>C</i>	M_1	14–16	<i>C</i>	M_1	14–17	<i>C</i>	M_1
19–23	<i>C</i>	M_1	17–19	<i>W</i>	M_2	18–20	<i>C</i>	M_1
24–26	<i>W</i>	M_2	20–22	<i>E</i>	M_2	21–26	<i>E</i>	M_2
27–30	<i>C</i>	M_1	23–25	<i>W</i>	M_2	27–30	<i>E</i>	M_1
			26–30	<i>C</i>	M_2			
			31	<i>E</i>	M_2			
Итого	<i>W</i> 8 (–1) <i>C</i> 19 (11) <i>E</i> 3 (–10)	3 5 (–4) M_1 18 (10) M_2 7 (–6)	Итого	<i>W</i> 12 (3) <i>C</i> 8 (–2) <i>E</i> 11 (–1)	3 3 (–8) M_1 13 (4) M_2 15 (4)	Итого	<i>W</i> 4 (–6) <i>C</i> 12 (1) <i>E</i> 14 (5)	3 0 (–8) M_1 24 (8) M_2 6 (0)
Июль			Август			Сентябрь		
ЭСП	А–Е	Т–А	ЭСП	А–Е	Т–А	ЭСП	А–Е	Т–А
1–3	<i>C</i>	M_1	1–3	<i>W</i>	M_1	1–4	<i>C</i>	M_1
4–6	<i>C</i>	M_1	4–8	<i>E</i>	M_1	5–7	<i>C</i>	M_1
7–9	<i>W</i>	M_1	9–12	<i>E</i>	M_1	8–10	<i>C</i>	M_2
10–12	<i>W</i>	3	13–15	<i>E</i>	M_1	11–14	<i>E</i>	M_1
13–15	<i>W</i>	3	16–19	<i>E</i>	M_1	15–17	<i>E</i>	M_2
16–20	<i>W</i>	M_1	20–24	<i>E</i>	M_1	18–21	<i>W</i>	3
21–25	<i>W</i>	M_1	25–31	<i>E</i>	M_1	22–26	<i>E</i>	M_1
26–30	<i>E</i>	M_1				27–30	<i>E</i>	M_2
31	<i>W</i>	M_2						
Итого	<i>W</i> 20 (10) <i>C</i> 6 (–5) <i>E</i> 5 (–5)	3 6 (–4) M_1 24 (6) M_2 1 (–2)	Итого	<i>W</i> 3 (–9) <i>C</i> 0 (–7) <i>E</i> 28 (16)	3 0 (–14) M_1 31 (18) M_2 0 (–4)	Итого	<i>W</i> 4 (–9) <i>C</i> 10 (2) <i>E</i> 16 (7)	3 4 (–11) M_1 16 (7) M_2 10 (4)
Октябрь			Ноябрь			Декабрь		
ЭСП	А–Е	Т–А	ЭСП	А–Е	Т–А	ЭСП	А–Е	Т–А
1–3	<i>W</i>	M_1	1	<i>E</i>	M_1	1–2	<i>W</i>	3
4–7	<i>E</i>	M_2	2–4	<i>W</i>	M_1	3–6	<i>W</i>	3
8–11	<i>E</i>	M_2	5–7	<i>C</i>	M_2	7–9	<i>C</i>	3
12–14	<i>C</i>	3	8–10	<i>W</i>	M_2	10–14	<i>W</i>	M_1
15–48	<i>E</i>	M_2	11–15	<i>W</i>	M_2	15–17	<i>W</i>	M_2
19–21	<i>E</i>	3	16–20	<i>W</i>	M_1	18–20	<i>W</i>	3
22–25	<i>W</i>	M_1	21–23	<i>C</i>	M_1	21–25	<i>W</i>	3
26–28	<i>C</i>	M_2	24–27	<i>W</i>	M_2	26–28	<i>C</i>	M_2
29–31	<i>E</i>	M_2	28–30	<i>W</i>	M_2	29–31	<i>E</i>	3
Итого	<i>W</i> 7 (–5) <i>C</i> 6 (–1) <i>E</i> 18 (6)	3 6 (–10) M_1 7 (2) M_2 18 (8)	Итого	<i>W</i> 23 (12) <i>C</i> 6 (0) <i>E</i> 1 (–12)	3 0 (–12) M_1 12 (9) M_2 18 (3)	Итого	<i>W</i> 22 (12) <i>C</i> 6 (1) <i>E</i> 3 (–13)	3 20 (10) M_1 5 (2) M_2 6 (–12)

Примечания: 1. ЭСП — элементарный синоптический процесс; А–Е — атлантико-европейский сектор полушария; Т–А — тихоокеано-американский сектор полушария. 2. В скобках приведены среднемесячные аномалии числа дней с формами (*W*, *C*, *E*) и типами (3, M_1 , M_2) атмосферной циркуляции.

1.2. МОНИТОРИНГ КЛИМАТА ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

В настоящем разделе приводятся оценки изменения температуры воздуха по районам Северной полярной области (СПО) и арктических морей (рис. 1.2.1). Исходными данными послужили результаты наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступающие с дрейфующих буев МПАБ и дрейфующих станций.

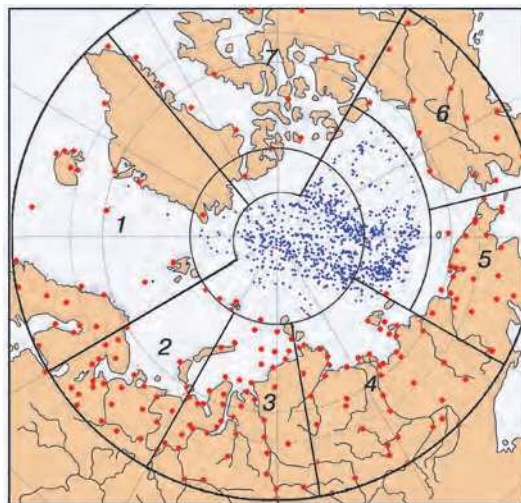


Рис. 1.2.1. Сеть метеорологических станций и границы районов Северной полярной области.

1 — Атлантический, 2 — Североевропейский, 3 — Западно-Сибирский, 4 — Восточно-Сибирский, 5 — Чукотский, 6 — Аляскинский, 7 — Канадский.

Температура воздуха

Основным методом получения осредненных по территории Северной полярной области и территориям климатических районов аномалий температуры воздуха является метод оптимального осреднения. Оценки аномалий получены относительно рекомендованного ВМО стандартного периода 1961–1990 гг. В качестве сезонов

Таблица 1.2.1

**Аномалии ΔT (отклонения от нормы за 1961—1990 гг.)
средней температуры воздуха в 2015 г. на территории СПО
и по широтным зонам (за год и за сезоны)**

φ° с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R
70–85	2,5	5	2,5	13	3,1	4	1,3	5	3,2	4
60–70	1,9	1	2,8	1	2,4	4	0,7	20	1,6	9
60–85	2,2	4	2,7	4	2,7	3	1,1	9	2,3	5

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936–2015 гг.

рассматривались: зима (декабрь — февраль), весна (март — май), лето (июнь — август) и осень (сентябрь — ноябрь). За год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь рассматриваемого.

Оценка аномалий средних сезонных и среднегодовой температуры воздуха за 2015 г. по отдельным широтным зонам (60–85, 60–70 и 70–85° с.ш.) представлена в табл. 1.2.1.

Значение осредненной по территории СПО аномалии среднегодовой температуры воздуха составило 2,2 °С, и 2015 г. стал четвертым теплым годом по рангу теплых лет за период с 1936 г. Наиболее теплым годом был 2011 г. с аномалией температуры 2,3 °С. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70–85° с.ш. оказалась равной 2,5 °С, а в зоне 60–70° с.ш. — 1,9 °С. Соответственно эти значения оказались пятым и первым по рангу теплых лет.

В 2015 г. области наиболее крупных аномалий температуры были отмечены к северу от 70° с.ш. в весеннем и осеннем сезонах. Для широтной зоны 70–85° с.ш. весной аномалия составила 3,1 °С, а осенью 3,2 °С. Это соответствует четвертому значению по рангу теплых лет в обоих сезонах.

К югу от 70° с.ш. области наиболее крупных аномалий температуры воздуха наблюдались в зимнем и весеннем сезонах. В зимнем сезоне для широтной зоны 60–70° с.ш. пространственно осредненная аномалия составила 2,8 °С, и, таким образом, зимний сезон оказался наиболее теплым с 1936 г. Предыдущий наиболее теплый сезон отмечался в 2008 г. с аномалией 2,4 °С. Аномалия температуры в весеннем сезоне стала четвертым значением в ряду убывающих температур.

В целом по СПО зимний и весенний сезоны 2015 г. оказались четвертым и третьим теплыми сезонами с 1936 г.

Пространственное распределение аномалий среднегодовой и средних сезонных значений температуры воздуха по территории СПО приведено на рис. 1.2.2. Значения аномалий, пространственно осредненных в целом по рассматриваемым районам, представлены в табл. 1.2.2, а для районов арктических морей и территории суши севернее 70° с.ш. — в табл. 1.2.3.

В 2015 г. области крупных положительных аномалий температуры располагались преимущественно в евразийском секторе и на западе североамериканского сектора. Самые крупные аномалии наблюдались на территории Западно-Сибирского и Аляскинского районов. Значения пространственно осредненной по территории районов аномалии составили 3,2 и 2,8 °С соответственно.

В *зимнем сезоне* основной очаг положительных аномалий температуры воздуха располагался на территории Аляски (рис. 1.2.2). Значение пространственно осредненной по территории района аномалии составило 4,2 °С и оказалось пятым значением в ряду убывающих температур. Другой очаг крупных положительных аномалий имел место в Западно-Сибирском районе (3,4 °С), но здесь прошедшая зима оказалась только пятнадцатой теплой зимой с 1936 г.

На метеорологических станциях в районах арктических морей крупные положительные аномалии температуры воздуха наблюдались над северной частью Баренцева и Карского морей, а также в районе Чукотского моря. Здесь аномалии достигали 4–5 °С. В целом по району Чукотского моря пространственно осредненная аномалия составила 3,8 °С и оказалась пятой по рангу теплых лет с 1936 г.

В *весеннем сезоне* основная область крупных положительных аномалий температуры воздуха располагалась в западной части евразийского сектора. Аномалия темпе-

ратуры воздуха, пространственно осредненная по территории Североευропейского и Западно-Сибирского районов, составила 4,1 и 5,5 °С соответственно. Прошедшая весна оказалась наиболее теплой в Североευропейском районе и второй по рангу теплых лет в Западно-Сибирском районе. В южных частях Чукотского и Канадского районов прослеживались небольшие отрицательные аномалии температуры воздуха.

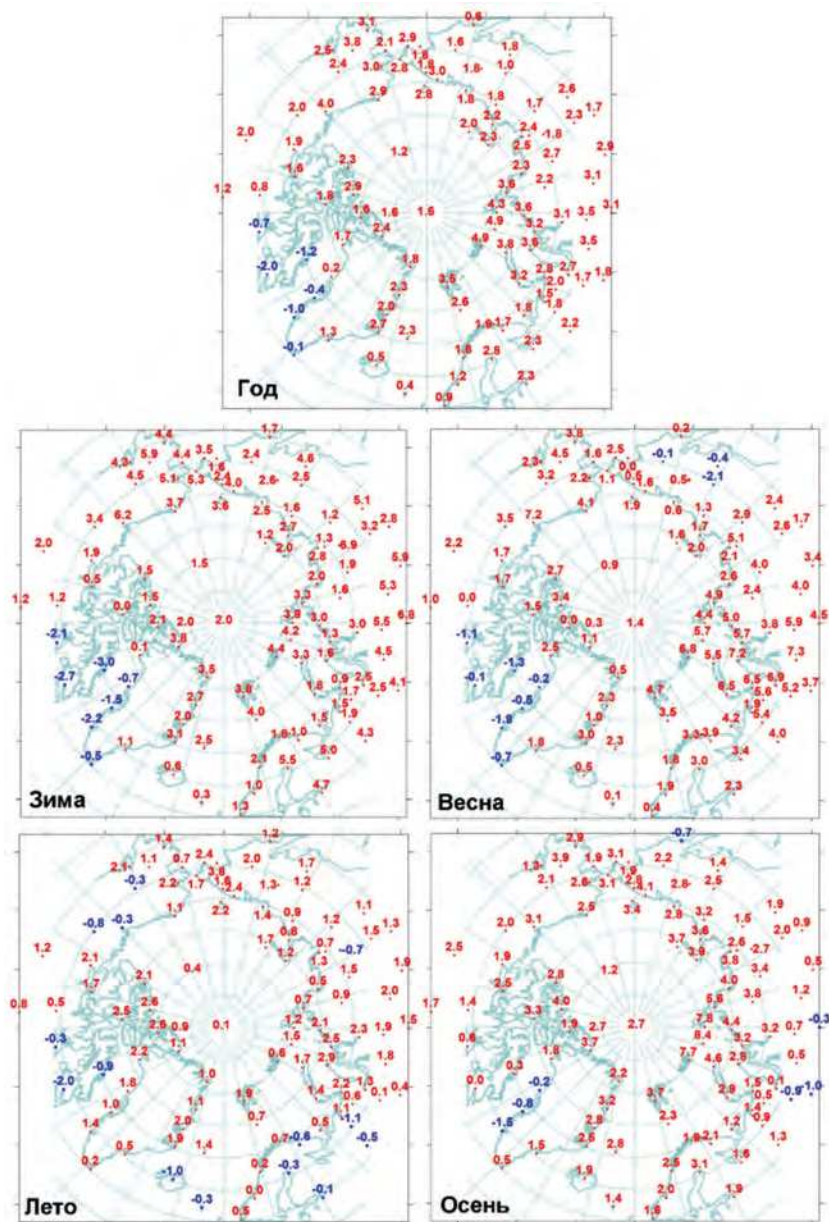


Рис. 1.2.2. Значения аномалий среднегодового и средних сезонных значений температуры воздуха (°С) на станциях Северной полярной области.

Таблица 1.2.2

Аномалии ΔT (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) средней температуры воздуха в 2015 г. для отдельных районов СПО (в среднем за год и по сезонам)

Район	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>
Атлантический	1,6	9	2,0	14	1,6	10	0,8	21	2,2	2
Североевропейский	2,4	5	3,0	22	4,1	1	0,2	45	2,2	10
Западно-Сибирский	3,2	3	3,4	15	5,5	2	1,7	3	2,4	18
Восточно-Сибирский	2,4	3	3,2	6	2,7	7	1,1	20	2,8	7
Чукотский	2,0	4	2,8	5	0,7	33	1,8	4	2,7	11
Аляскинский	2,8	2	4,2	5	3,6	3	0,9	13	2,5	12
Канадский	1,0	25	0,4	39	0,9	33	0,9	14	1,6	18

Таблица 1.2.3

Аномалии ΔT (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) средней температуры воздуха в 2015 г. для районов севернее 70° с.ш. (в среднем за год и по сезонам)

Море, часть климатического района	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	<i>R</i>
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	2,5	5	3,1	16	2,5	7	1,5	11	2,8	4
Баренцево море	2,9	4	2,7	25	4,9	1	0,8	25	3,2	3
Карское море	3,8	5	2,6	30	5,7	2	2,0	3	4,7	5
Море Лаптевых	2,6	6	2,6	14	2,7	8	0,9	25	4,2	2
Восточно-Сибирское море	2,1	4	2,3	7	1,3	30	1,4	11	3,3	9
Чукотское море	2,5	6	3,8	5	1,2	28	1,8	3	3,1	5
Море Бофорта	2,7	9	3,2	8	3,9	1	0,8	13	2,8	10
Северная часть Канадского района	1,2	15	0,4	40	1,0	32	1,7	8	1,9	17

В районах арктических морей и на территории суши севернее 70° с.ш. наблюдались преимущественно положительные аномалии температуры. Высокие значения положительных аномалий отмечались в районе Баренцева и Карского морей, а также в районе моря Бофорта. Соответственно в районах морей Баренцева и Бофорта весенний сезон стал наиболее теплым, а в районе Карского моря — вторым теплым сезоном по рангу теплых лет.

В летнем сезоне наиболее крупные аномалии температуры воздуха были отмечены в азиатском секторе. Аномалия температуры в районах Западно-Сибирском и Чукотском составила 1,7 и 1,8 °С соответственно. Лето 2015 г. оказалось третьим теплым летом по рангу теплых лет в Западно-Сибирском районе и четвертым в Чукотском.

В районах арктических морей наблюдались преимущественно положительные аномалии температуры воздуха. Наиболее высокие значения положительных аномалий отмечались в районе Карского и Чукотского морей, а также в северной части Канадского района. В районе Карского моря осредненная аномалия составила 2 °С.

В осеннем сезоне на станциях СПО наиболее крупные аномалии температуры были отмечены в центральной части евразийского и на западе американского секторов. Значения пространственно осредненных по территориям Восточно-Сибирского, Чукотского и Аляскинского районов аномалий температуры воздуха

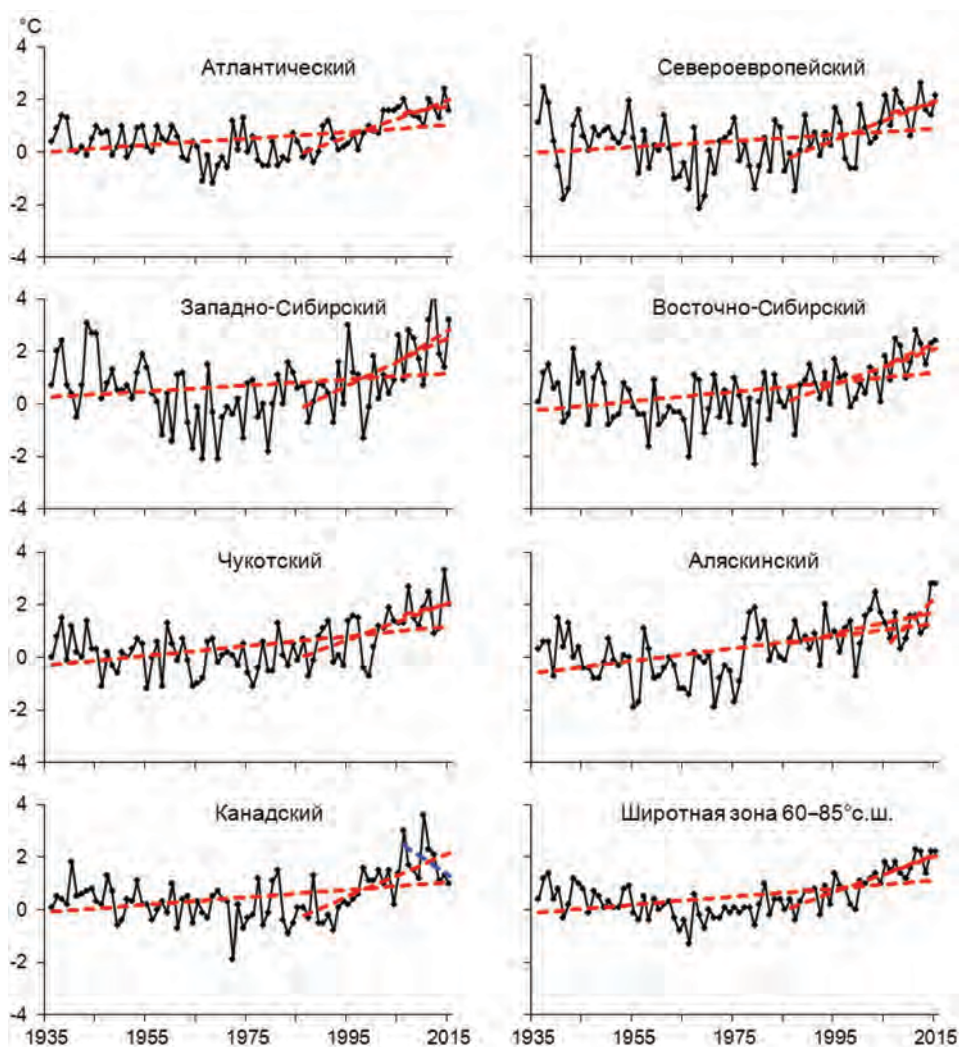


Рис. 1.2.3. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60–85° с.ш.

составили 2,8; 2,7 и 2,5 °C и оказались соответственно седьмым, одиннадцатым и двенадцатым значениями по рангу теплых лет.

На акватории арктических морей наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха имели место в северной части Карского моря. Пространственно осредненная аномалия по району моря составила 4,7 °C. Осень 2015 г. в районе моря стала пятой по рангу теплых лет с 1936 г.

Временные ряды пространственно осредненных по территории климатических районов аномалий среднегодовой температуры воздуха, аппроксимированные линейным трендом за весь период, последний тридцатилетний и десятилетний периоды, представлены на рис. 1.2.3, а для районов арктических морей — на рис. 1.2.4.

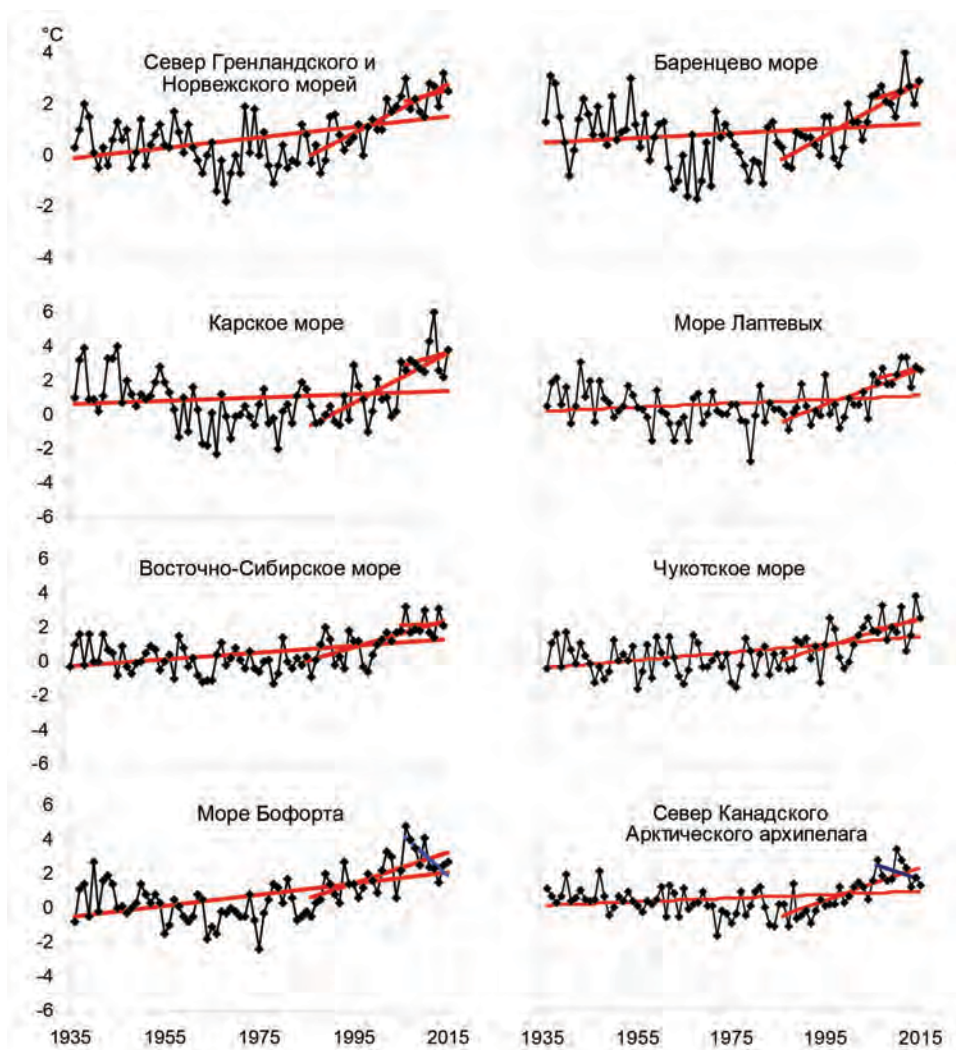


Рис. 1.2.4. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей.

Оценки линейного тренда приведены в табл. 1.2.4 и 1.2.5. В период 1936–2015 гг. наблюдается статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры воздуха для широтных зон 60–70 и 70–85° с.ш. и в целом для СПО. Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 80 лет составило 1,28; 1,20 и 1,20 °C соответственно. По оценкам для отдельных климатических районов значимый тренд прослеживается во всех районах, кроме Западно-Сибирского. Потепление за 80 лет составляет для разных районов от 0,88 до 1,92 °C.

Для СПО в целом значимый тренд обнаруживается во всех сезонах. В весеннем, летнем и осеннем сезонах значения линейного тренда по отдельным широтным зонам близки друг к другу. Наибольшее линейное повышение температуры наблюдается в весеннем сезоне и составляет около 1,8 °C за 80 лет.

Таблица 1.2.4

Коэффициент линейного тренда b (°C/10 лет) средней за год температуры воздуха за весь период наблюдений и за последние 30 и 10 лет по регионам СПО и вклад тренда в дисперсию (%)

Район, широтная зона	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	b	%	b	%	b	%	b	%	b	%
1936–2015 гг.										
Атлантический	0,19	32,8	0,15	38,6	0,11	41,9	0,08	23,0	0,13	39,1
Североевропейский	0,06	5,9	0,28	40,9	0,08	20,0	0,07	12,2	0,12	25,1
Западно-Сибирский	0,00	0,4	0,30	32,6	0,09	25,9	0,06	8,2	0,11	20,2
Восточно-Сибирский	0,19	23,7	0,29	39,2	0,12	35,1	0,12	17,2	0,18	39,9
Чукотский	0,09	12,1	0,25	35,6	0,18	52,2	0,24	36,7	0,19	46,1
Аляскинский	0,37	37,3	0,23	29,8	0,17	48,9	0,15	23,0	0,24	52,1
Канадский	0,21	27,9	0,06	11,3	0,11	37,4	0,19	36,9	0,14	36,7
70–85° с.ш.	0,13	21,5	0,21	47,6	0,12	49,2	0,14	26,9	0,15	38,9
60–70° с.ш.	0,17	34,0	0,23	44,8	0,12	54,7	0,11	30,0	0,16	52,2
60–85° с.ш.	0,14	29,7	0,22	47,9	0,12	54,0	0,12	31,2	0,15	47,5
1985–2015 гг.										
Атлантический	1,17	76,0	0,58	59,7	0,50	72,1	0,61	77,1	0,72	82,3
Североевропейский	1,22	45,5	0,55	34,6	0,36	39,1	0,97	57,8	0,77	65,3
Западно-Сибирский	1,10	39,2	1,01	43,5	0,40	42,3	1,12	48,8	0,91	60,1
Восточно-Сибирский	0,15	8,4	1,02	51,5	0,58	56,7	0,95	57,2	0,68	65,5
Чукотский	0,72	37,9	0,57	32,3	0,42	46,6	1,10	61,5	0,70	62,6
Аляскинский	0,34	15,0	0,03	2,0	0,04	4,3	1,08	60,2	0,37	44,3
Канадский	1,10	54,4	0,61	39,0	0,52	62,7	1,05	70,9	0,81	69,8
70–85° с.ш.	1,41	80,7	0,45	43,9	0,46	70,6	1,36	89,7	0,92	89,7
60–70° с.ш.	0,37	32,5	0,85	53,0	0,34	59,4	0,65	67,0	0,55	71,1
60–85° с.ш.	0,75	65,1	0,59	55,5	0,40	68,9	0,96	83,3	0,68	82,3
2005–2015 гг.										
Атлантический	0,06	2,5	–0,10	5,7	0,03	03,2	0,96	57,1	0,24	19,4
Североевропейский	–0,70	10,0	1,46	29,9	0,05	2,1	0,59	19,0	0,35	20,3
Западно-Сибирский	0,02	0,3	3,79	52,7	0,81	27,3	–0,19	03,9	1,11	29,1
Восточно-Сибирский	–0,61	12,7	2,74	44,4	0,68	44,0	0,41	18,7	0,81	38,4
Чукотский	2,43	43,0	0,58	12,6	0,02	0,9	–1,10	27,7	0,48	19,1
Аляскинский	2,08	41,2	3,02	58,7	1,01	40,1	1,13	32,7	1,81	68,1
Канадский	–1,95	35,4	–1,65	34,5	–0,50	27,7	–1,31	42,2	–1,35	45,2
70–85° с.ш.	–0,36	15,4	1,61	49,5	0,10	6,7	0,27	18,3	0,41	22,3
60–70° с.ш.	0,58	16,2	1,41	45,8	0,15	15,9	0,30	22,8	0,61	52,9
60–85° с.ш.	0,74	28,3	1,53	47,0	0,41	44,0	0,44	33,9	0,78	56,9

Примечание. Жирным шрифтом выделены тренды, статистически значимые на 5 %-ном уровне значимости.

В течение последних тридцати лет (1986–2015 гг.) температура воздуха повышалась во всех регионах СПО. В целом для СПО линейное повышение среднегодовой температуры воздуха за 30 лет составило около 2,0 °C. По-прежнему сохраняется более высокая скорость потепления в широтной зоне к северу от 70° с.ш. (0,92 °C/10 лет в зоне

Таблица 1.2.5

Коэффициент линейного тренда b ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) средней за год температуры воздуха за весь период наблюдений и за последние 30 и 10 лет по районам арктических морей и вклад тренда в дисперсию (%)

Море, часть моря	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	b	%	b	%	b	%	b	%	b	%
1936–2015 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,26	29,8	0,24	44,3	0,18	59,7	0,14	26,6	0,21	45,1
Баренцево море	0,00	0,4	0,22	33,5	0,07	21,4	0,08	13,4	0,09	17,7
Карское море	–0,06	4,3	0,30	31,3	0,06	18,7	0,09	09,5	0,10	14,0
Море Лаптевых	0,03	4,0	0,24	31,2	0,10	27,2	0,08	09,9	0,11	22,0
Восточно-Сибирское море	0,16	25,6	0,24	34,0	0,16	42,5	0,21	29,7	0,19	44,5
Чукотское море	0,24	27,2	0,26	32,2	0,18	47,8	0,24	36,3	0,23	46,6
Море Бофорта	0,40	51,9	0,19	32,5	0,15	43,2	0,24	36,7	0,25	53,6
Северная часть Канадского района	0,13	16,2	0,05	8,6	0,06	17,8	0,18	32,9	0,11	25,8
1985–2015 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,84	75,1	0,68	50,4	0,53	74,2	0,83	73,8	0,97	82,8
Баренцево море	1,72	67,1	0,80	48,2	0,35	39,0	1,22	73,7	1,02	79,9
Карское море	2,07	59,5	1,32	51,7	0,53	60,1	1,93	69,2	1,46	75,0
Море Лаптевых	0,81	41,6	1,09	53,1	0,64	56,0	1,70	79,0	1,06	73,2
Восточно-Сибирское море	0,79	51,2	0,68	37,1	0,49	47,2	1,27	63,3	0,81	66,9
Чукотское море	1,31	57,2	0,38	19,0	0,37	36,9	1,25	67,3	0,83	62,1
Море Бофорта	1,10	60,3	0,25	16,6	0,25	26,3	1,59	79,5	0,80	63,8
Северная часть Канадского района	1,45	63,2	0,85	53,0	0,58	52,1	1,12	71,9	1,00	77,8
2005–2015 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,40	10,1	–0,44	15,1	0,18	19,1	1,61	75,7	0,44	25,1
Баренцево море	–0,90	15,8	1,75	37,9	0,35	13,4	1,18	36,9	0,60	25,9
Карское море	–1,61	21,3	3,35	43,8	0,78	26,2	0,54	10,2	0,77	21,6
Море Лаптевых	–0,82	16,9	2,40	39,9	0,42	19,1	0,78	40,4	0,70	33,2
Восточно-Сибирское море	0,79	22,7	1,15	24,3	–0,30	9,8	–1,41	37,6	0,06	03,0
Чукотское море	2,31	37,4	1,37	30,8	–0,28	7,6	0,72	17,8	1,03	17,0
Море Бофорта	–1,96	46,1	2,41	55,5	–0,22	7,9	–0,77	22,8	–0,14	74,9
Северная часть Канадского района	–0,88	16,2	–1,19	30,4	–0,63	18,7	–1,04	29,9	–0,94	37,3

Примечание. Жирным шрифтом выделены тренды, статистически значимые на 5 %-ном уровне значимости.

70–85° с.ш. по сравнению с 0,55 $^{\circ}\text{C}/10$ лет в зоне 60–70° с.ш.). В основном это происходит за счет более быстрого повышения температуры в зимнем и осеннем сезонах к северу от 70° с.ш. (1,41 и 1,36 $^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно).

В последний десятилетний период в СПО наиболее заметное повышение температуры наблюдалось в весеннем сезоне.

В районе арктических морей в период 1936–2015 гг. повсюду знак тренда среднегодовой температуры положительный. Наиболее высокими темпами повышение температуры происходит в районах приатлантического и притихоокеанского секторов. Линейное повышение среднегодовой температуры воздуха в северной части Гренландского и Норвежского морей и в районах морей Чукотского и Бофорта составило около 1,7; 1,8 и 2,0 °C за 80 лет.

В последнем 30-летнем периоде статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) линейный тренд среднегодовой температуры прослеживается во всех районах арктических морей. Потепление там за эти тридцать лет составило от 2,4 °C (Восточно-Сибирское море) до 4,4 °C (Карское море).

Атмосферные осадки

Оценка многолетних изменений количества осадков в СПО проводится по тем же климатическим районам, что и для температуры воздуха. За холодный сезон принимается период с октября по май, а за теплый — период с июня по сентябрь.

В табл. 1.2.6 представлены относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2014–2015 гг. для СПО и для отдельных климатических районов. В целом по региону годовая сумма осадков была выше нормы (на 6,6 %) главным образом за счет более влажного холодного периода в обеих широтных зонах и теплого периода к югу от 70° с.ш. Менее всего осадков выпало в Чукотском районе (на 11,6 % ниже нормы) из-за большей сухости теплого периода (на 19,3 % ниже нормы), а более всего — в Западно-Сибирском районе (на 17,6 % выше нормы).

На рис. 1.2.5 приведены временные ряды годовых сумм осадков для районов арктических морей. В табл. 1.2.7 представлены оценки трендов в изменении сезонных и годовых сумм осадков с 1936 по 2015 г. по северным (70–85° с.ш.) и южным (60–70° с.ш.) частям климатических районов, а также для районов в целом.

В межгодовых изменениях годовых сумм осадков за период 1936–2015 гг. в СПО наблюдается сохранение тенденции статистически значимого их увеличения. Годовые суммы осадков за 80 лет возросли на 5,7 % по сравнению с нормой за 1961–1990 гг. Однако увеличение осадков в СПО полностью обеспечено их устойчивым увеличением в широтной зоне к югу от 70° с.ш. (на 8,8 % нормы). Здесь, в южных частях Атлантического, Североевропейского и Западно-Сибирского районов, а также в южной части Канадского Арктического архипелага увеличение годовых сумм осадков составило от 4 до 26 % нормы.

В районах арктических морей сохраняется тенденция к уменьшению годовых сумм осадков в морях азиатского сектора СПО (Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском). Уменьшение годовых сумм осадков за весь период составляет от 3 % нормы за 1961–1990 гг. (район Карского моря) до 39 % (район Восточно-Сибирского моря).

Относительно распределения в годовой сумме доли осадков теплого и холодного периода можно отметить следующее. Рост годовых сумм осадков в СПО полностью обеспечивается увеличением количества осадков в холодном периоде. В целом по СПО в холодный период количество осадков возросло на 11 % в основном за счет широтной зоны 60–70° с.ш. (здесь прирост составил 14 %, а к северу от 70° с.ш. — только 7 %). На всей же территории СПО количество осадков в холодный период года уменьшилось лишь в Чукотском районе (на 15 %).

Таблица 1.2.6

**Относительные аномалии (%) сезонных и годовых сумм осадков
в 2014–2015 гг.**

Климатический район, широтная зона	Холодный период	Теплый период	Год
Атлантический	123,2	94,7	114,4
Североевропейский	110,6	94,8	103,8
Западно-Сибирский	115,5	120,0	117,6
Восточно-Сибирский	98,6	102,2	100,5
Чукотский	94,4	80,7	88,4
Аляскинский	85,3	113,5	100,5
Канадский	92,5	103,4	98,1
70–85° с.ш.	109,1	92,8	101,7
60–70° с.ш.	115,2	106,8	111,7
60–85° с.ш.	110,6	101,2	106,6

Таблица 1.2.7

**Коэффициент линейного тренда b (°C/10 лет) сезонных и годовых сумм осадков
за период 1936–2015 гг. и изменение сумм осадков в долях (%) от нормы
за 1961–1990 гг.**

Район, широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	b	%	b	%	b	%
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	6,83	6,4	–0,69	–1,5	6,14	4,0
Североевропейский (южная часть)	15,11	39,8	2,69	8,8	17,80	25,9
Западно-Сибирский (южная часть)	9,25	27,4	–1,77	–5,7	7,47	11,6
Восточно-Сибирский (южная часть)	2,46	13,2	0,36	1,7	2,82	7,0
Чукотский (южная часть)	–0,80	–2,9	–0,37	–1,8	–1,18	–2,5
Аляскинский (южная часть)	2,94	13,8	–0,30	–1,2	2,64	5,8
Канадский (южная часть)	–0,15	–0,9	3,10	16,7	2,94	8,2
60–70°с.ш.	5,27	14,1	0,48	1,7	5,75	8,8
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	8,85	30,1	0,50	3,3	9,35	20,9
Баренцево море	6,29	22,2	–0,77	–4,0	5,52	11,6
Карское море	0,19	1,1	–1,13	–7,3	–0,94	–2,9
Море Лаптевых	–3,09	–20,3	–2,92	–18,4	–6,01	–19,3
Восточно-Сибирское море	–7,06	–45,1	–4,84	–33,1	–11,90	–39,3
Чукотское море	–9,61	–43,9	–4,00	–24,7	–13,62	–35,8
Море Бофорта	–0,88	–7,2	0,97	8,7	0,09	0,4
Канадский (северная часть)	0,49	6,5	0,46	5,6	0,95	6,0
70–85°с.ш.	1,21	7,0	–0,89	–6,3	0,31	1,0
Атлантический	7,70	9,6	–0,29	–0,8	7,41	6,4
Североевропейский	11,54	33,7	1,40	5,3	12,94	21,4
Западно-Сибирский	5,43	20,5	–1,50	–6,1	3,93	7,7
Восточно-Сибирский	0,34	1,9	–0,89	–4,6	–0,55	–1,5
Чукотский	–3,57	–15,0	–2,41	–12,9	–5,98	–14,1
Аляскинский	1,92	10,3	–1,10	–5,0	0,81	2,0
Канадский	0,10	0,7	2,11	14,4	2,21	7,8
60–85°с.ш.	3,41	11,1	–0,34	–1,5	3,07	5,7

Примечание. Жирным шрифтом выделены тренды, статистически значимые на 5 %-ном уровне значимости.

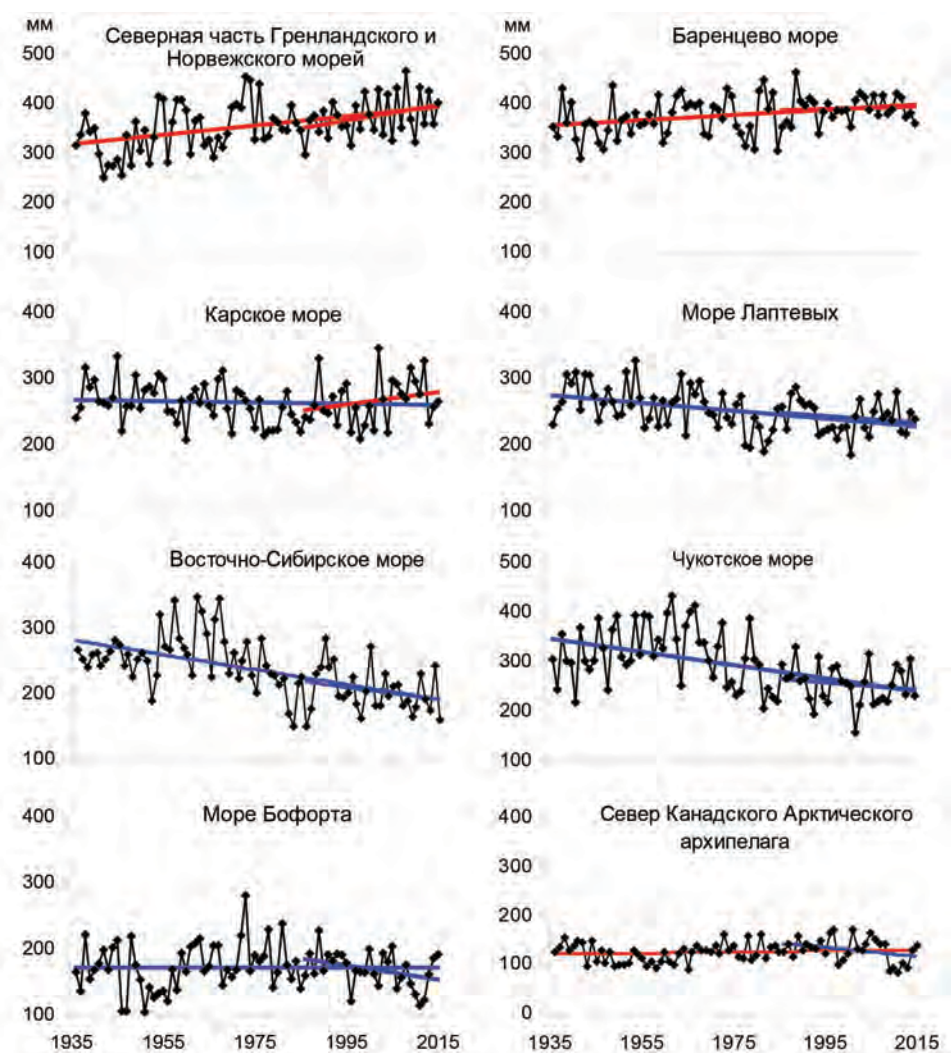


Рис.1.2.5. Временные ряды годовых сумм осадков.

В теплый сезон количество осадков в СПО за период 1936—2015 гг. уменьшилось в целом по региону на 1,5 %. Наибольшее их уменьшение отмечалось в широтной зоне к северу от 70 °с.ш. (на 6,3 % нормы). Статистически значимое увеличение количества осадков обнаруживается только в Канадском районе (на 14 % нормы).

В заключение отметим, что результаты мониторинга состояния приземной атмосферы в Северной полярной области позволяют сделать вывод о сохранении в последние годы тенденции к потеплению в высоких широтах.

2. ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ И ПРОЦЕССЫ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ И ЕГО МОРЯХ

ВВЕДЕНИЕ

Оценки развития ледовых условий в 2015 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, данным экспедиционных исследований в высокоширотных рейсах на судах и ледоколах, проводимых в ААНИИ, на арктической базе «Мыс Баранова» и при осуществлении ряда международных проектов.

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 2015 г. выполнен на основе массива ежедневных распределений оценки общей сплоченности по алгоритму NASATEAM из архива НЛЦ США по снегу и льду.

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

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). В результате карты ААНИИ характеризуют ледовые условия морей от Гренландского до Чукотского, а также Берингова, Охотского и Балтийского, карты КЛС — морей Бофорта, Баффина, Лабрадор, Девисова пролива и проливов Канадского Арктического архипелага, а карты НЛЦ — Арктического бассейна, моря Линкольна, южной части Гренландского моря (при этом полный охват карт НЛЦ — вся акватория СЛО и субполярные моря).

Для цветовой окраски карт использован стандарт ВМО (WMO/Std. 1215) для зимнего (по возрасту) и летнего (по общей сплоченности) периодов. 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. Однако данная несогласованность несущественна для целей интерпретации ледовых условий в рамках настоящего обзора. Исходная информация доступна на сервере МЦД МЛ по следующим 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).

На рис. 2.В.1 показаны границы и положение квазиоднородных районов, по которым проводится описание развития ледовых условий.

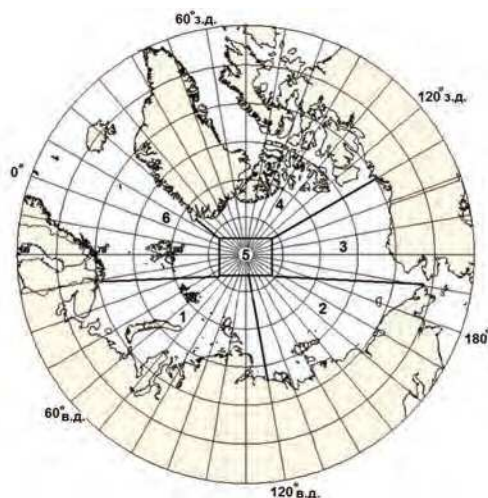


Рис. 2.В.1. Квазиоднородные районы Северного Ледовитого океана.

1 — западный район российского сектора, 2 — восточный район российского сектора, 3 — аляскинский сектор, 4 — канадский сектор, 5 — приполюсный район, 6 — гренландский сектор.

В.П. Карклин, А.В. Юлин

2.1. РАЗВИТИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД (ЯНВАРЬ — МАРТ)

Ледообразование в арктическом бассейне в предшествующий осенний период началось в середине сентября 2014 г., что на полмесяца позже средних многолетних сроков. На северных границах всех арктических морей молодые льды стали появляться в начале октября. Непосредственно в арктических морях России ледообразование началось позднее нормы на 5–15 суток. Особенно поздно ледообразование началось в Чукотском море — на 30–50 суток позднее нормы.

В конце 2014 г. в морях российского сектора Арктики преобладали однолетние тонкие и средние льды. Большое количество молодых льдов наблюдалось в Баренцевом и Чукотском морях. Значительное количество остаточных льдов сохранилось в северной части Восточно-Сибирского моря. Основная масса старых льдов в СЛО была смещена в приполюсный район, в гренландский, канадский и аляскинский секторы Арктики.

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в конце декабря 2014 г. была на 5 % меньше средних многолетних значений.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным грациям и поля среднемесячного дрейфа на каждый месяц за период январь — март 2015 г. приведены на рис. 2.1.1–2.1.9.

Позднее начало ледообразования в осенний период отчасти компенсировалось большой интенсивностью нарастания льда в зимний период. Темпы нарастания льда были близки к средним многолетним значениям во всех арктических морях, кроме Чукотского. В январе на акватории всех арктических морей, начиная от северо-восточной части Карского моря и далее на восток, преобладали однолетние средние льды (диапазон толщины 70–120 см). Только в окраинных морях российского сектора Арктики (Баренцевом и Чукотском) наблюдалось преобладание однолетних тонких и молодых

льдов. Обширный отрог двухлетних льдов наблюдался в Восточно-Сибирском море. Двухлетние льды наблюдались также в северной части моря Бофорта и в виде небольшого локального пятна в северо-восточной части Карского моря. Началось становление припая на побережье и в проливах арктических морей (рис. 2.1.1).

В январе были развиты все основные структуры дрейфа льда в СЛО. Стрежень хорошо развитого Трансарктического переноса был направлен от Новосибирских островов к побережью Гренландии. У Гренландии направление дрейфа льдов разделялось на две части. Одна часть переноса была направлена в пролив Фрама, а другая вовлекалась в периферию Канадского антициклонического круговорота, который был также хорошо развит. Центр круговорота располагался над северной границей моря Бофорта. Образовавшийся круговорот обусловил интенсивный перенос льда вдоль побережья Аляски и вынос льда из моря Бофорта в северные части морей Чукотского, Восточно-Сибирского и Лаптевых (рис. 2.1.2).

В результате хорошо развитого Трансарктического переноса льда и его разделения на две части меньшее количество льдов поступило в пролив Фрама, что сформировало отрицательные аномалии сплоченности льда вдоль побережья Гренландии, а также вдоль побережья Аляски (на рис. 2.1.3 б зоны, выделенные синим цветом).

Положительные аномалии сплоченности льда локально сформировались в северных частях морей западного района российского сектора Арктики (на рис. 2.1.3 б зоны, выделенные зеленым цветом).

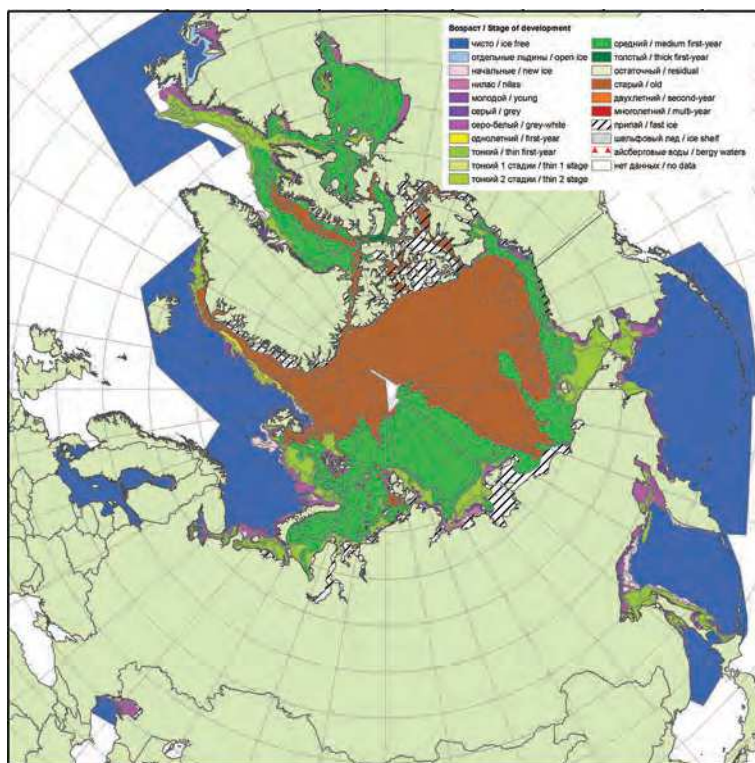


Рис. 2.1.1. Обзорная ледовая карта СЛО за 19–20 января 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

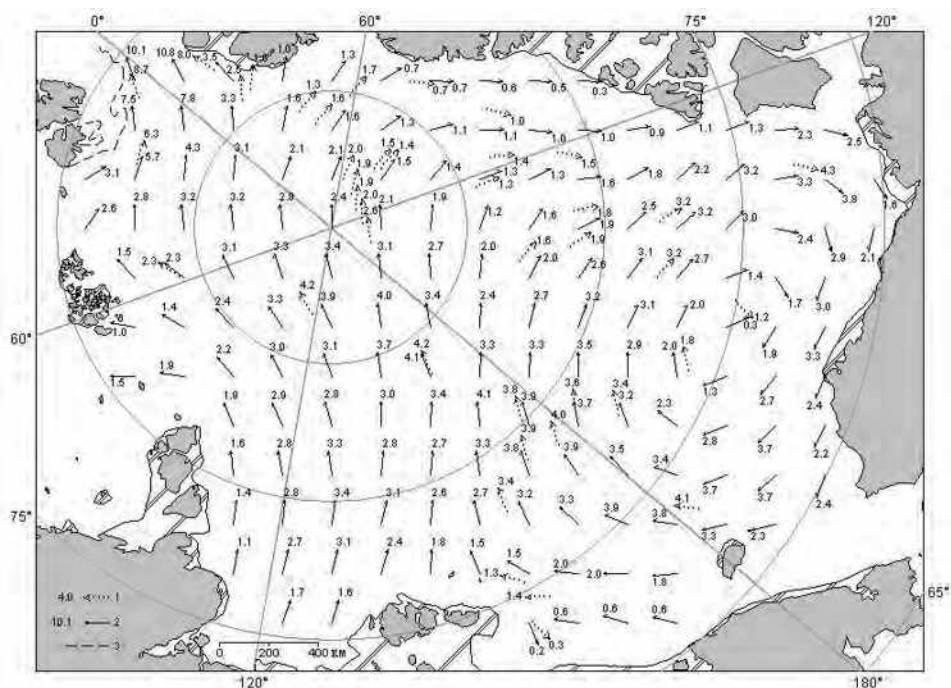


Рис. 2.1.2. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в январе 2015 г.
 1 — направление и скорость (км/сут) дрейфа автоматического буя, 2 — результаты расчета в узле сетки,
 3 — кромка молодого льда.

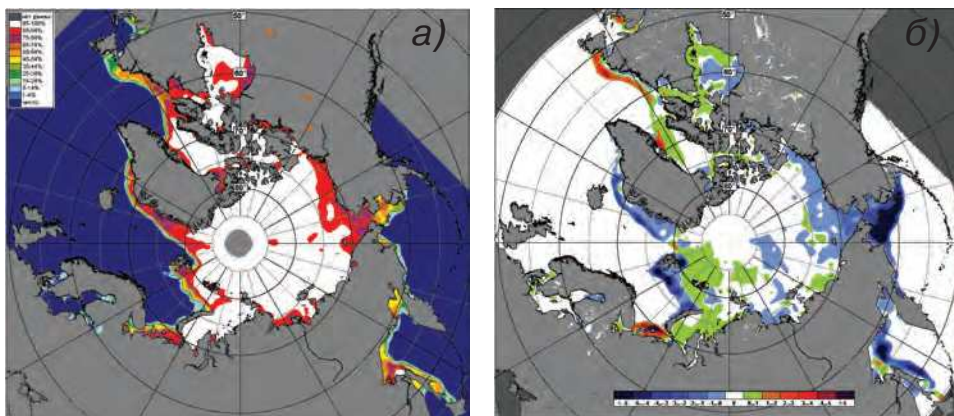


Рис. 2.1.3. Медианное распределение сплоченности льда в январе 2015 г. (а) и ее разность относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS, алгоритм NASATEAM.

В феврале продолжалось нарастание льда во всех арктических морях. В северных частях морей восточного района российского сектора Арктики и в море Бофорта лед перешел в возрастную градацию однолетних толстых (толщина более 120 см). Непосредственно в самих морях (в их центральных и южных частях) преобладали однолетние средние льды (диапазон толщины 70–120 см). В результате выноса льдов из

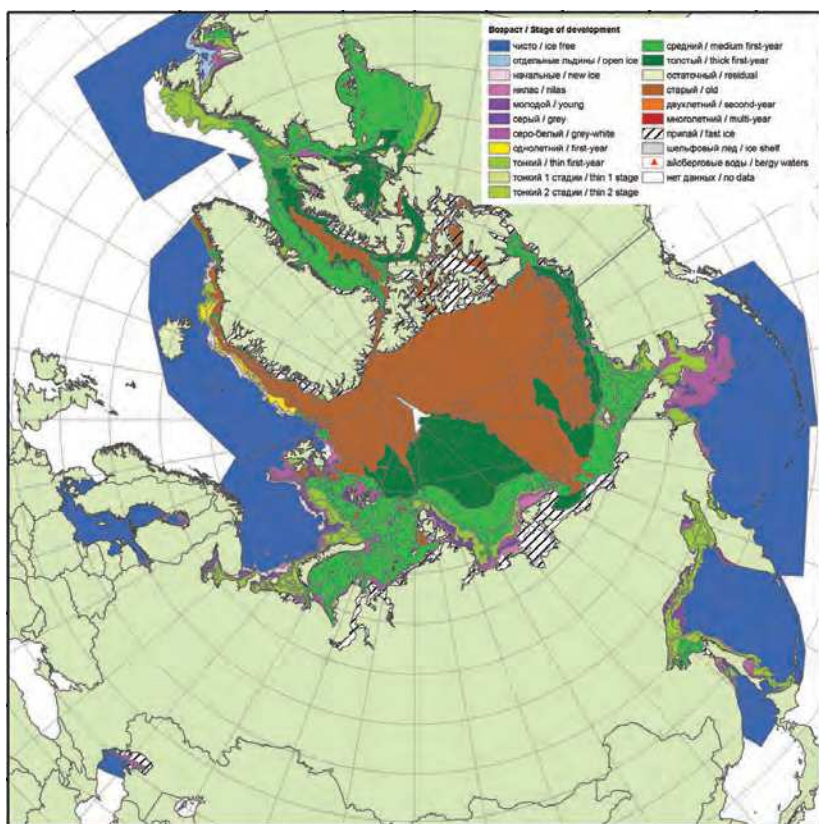


Рис. 2.1.4. Обзорная ледовая карта СЛО за 16–17 февраля 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

моря Лаптевых в его южной части сформировались обширные заприпайные полыньи. В Восточно-Сибирском море сохранялся обширный язык двухлетних льдов.

Наблюдалось дальнейшее возрастание толщины припайного льда и его площади в районе Новосибирских островов и вдоль арктического побережья. Однако вместе с тем не произошло становления припая в проливе Вилькицкого (рис 2.1.4).

В поле дрейфа наблюдалось дальнейшее развитие Трансарктического переноса со стрежнем, смещенным от северных границ морей Лаптевых и Восточно-Сибирского к побережью островов Канадского Арктического архипелага. Далее весь поток льдов уходил в пролив Фрама. В Трансарктический перенос были вовлечены льды на 2/3 акватории СЛО. Канадский антициклонический круговорот был развит слабо и смещен в море Бофорта (рис. 2.1.5).

В результате установившегося дрейфа льда произошло формирование поля сплоченности с двумя хорошо выраженными областями отрицательных аномалий сплоченности льда (на рис. 2.1.6 б зоны, выделенные синим цветом). В первую область вошли моря западного района российского сектора Арктики (в основном море Лаптевых), во вторую — море Бофорта. Область повышенной сплоченности наблюдалась на подходах к проливу Фрама и в Карском море (на рис. 2.1.6 б зоны, выделенные зеленым цветом).

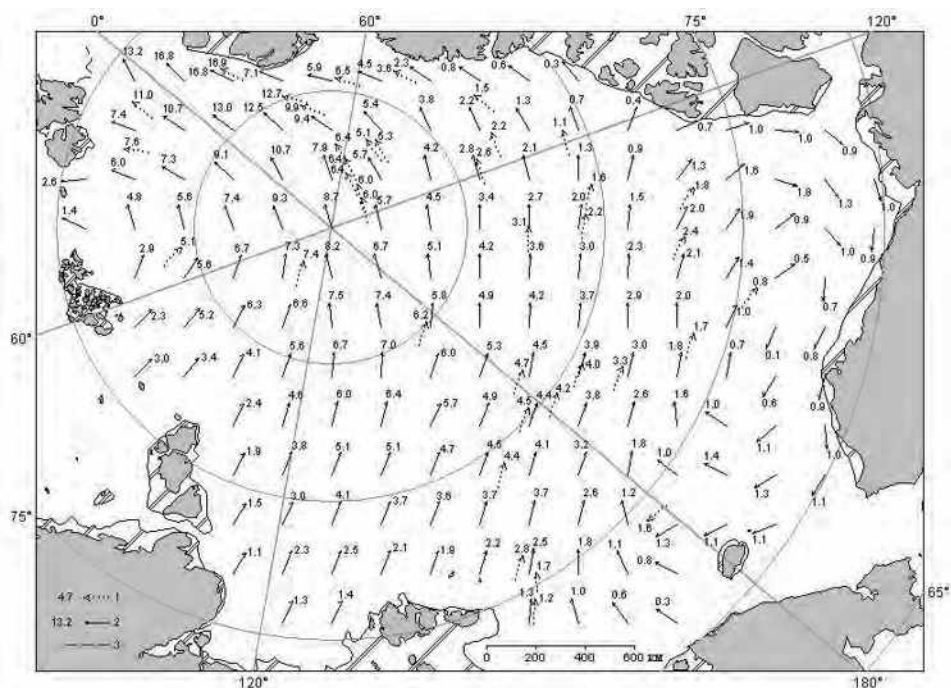


Рис. 2.1.5. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в феврале 2015 г.
Усл. обозначения см. рис. 2.1.2.

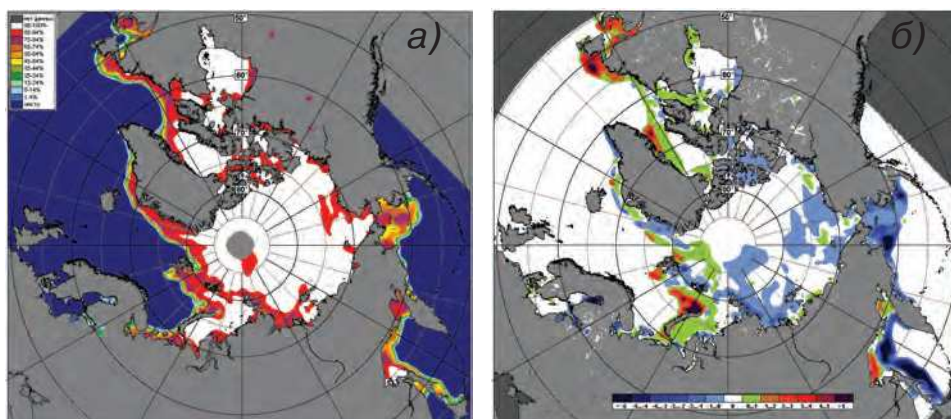


Рис. 2.1.6. Медианное распределение сплоченности льда в феврале 2015 г. (а) и ее разность относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS, алгоритм NASATEAM.

В марте наблюдалось дальнейшее нарастание и развитие ледяного покрова, особенно хорошо выраженные в морях российского и аляскинского секторов Арктики. В возрастном составе льдов в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Бофорта начали преобладать однолетние толстые льды. В морях западного района российского сектора Арктики (Баренцевом и юго-западной части Карского) и Чукотском море преобладали однолетние средние льды и большое количество молодых льдов.

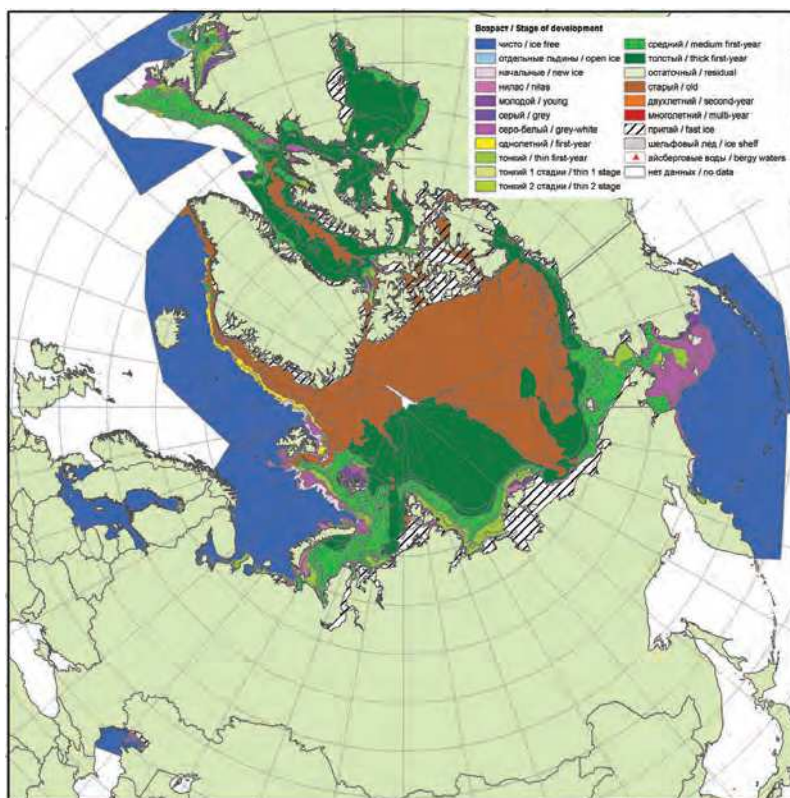


Рис. 2.1.7. Обзорная ледовая карта СЛО за 16–17 марта 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

Вследствие постоянного выноса льдов из западной части моря Лаптевых не установился припай на подходах к проливу Вилькицкого со стороны моря Лаптевых (рис. 2.1.7).

В марте сохранились основные черты поля дрейфа, которое наблюдалось в феврале. В поле дрейфа были хорошо выражены основные элементы общего дрейфа льда в океане — Трансарктический перенос и Канадский антициклонический круговорот. В результате Трансарктического переноса, стрежень которого был направлен от Новосибирских островов к побережью Гренландии, наблюдался вынос льдов из морей западного района российского сектора Арктики (Баренцево, Карское, Лаптевых) в пролив Фрама.

В результате хорошо развитого Канадского антициклонического круговорота продолжался перенос льдов вдоль побережья Аляски из моря Бофорта в северную часть Чукотского моря и далее на запад в Восточно-Сибирское море. Результирующее поле среднемесячного дрейфа за март приведено на рис. 2.1.8.

В поле сплоченности льда сформировались несколько центров отрицательных и положительных аномалий сплоченности — в основном в тех районах, из которых выносило лед (на рис. 2.1.9 б зоны, выделенные синим цветом) и в которые приносило лед в результате его дрейфа (на рис. 2.1.9 б зоны, выделенные зеленым цветом).

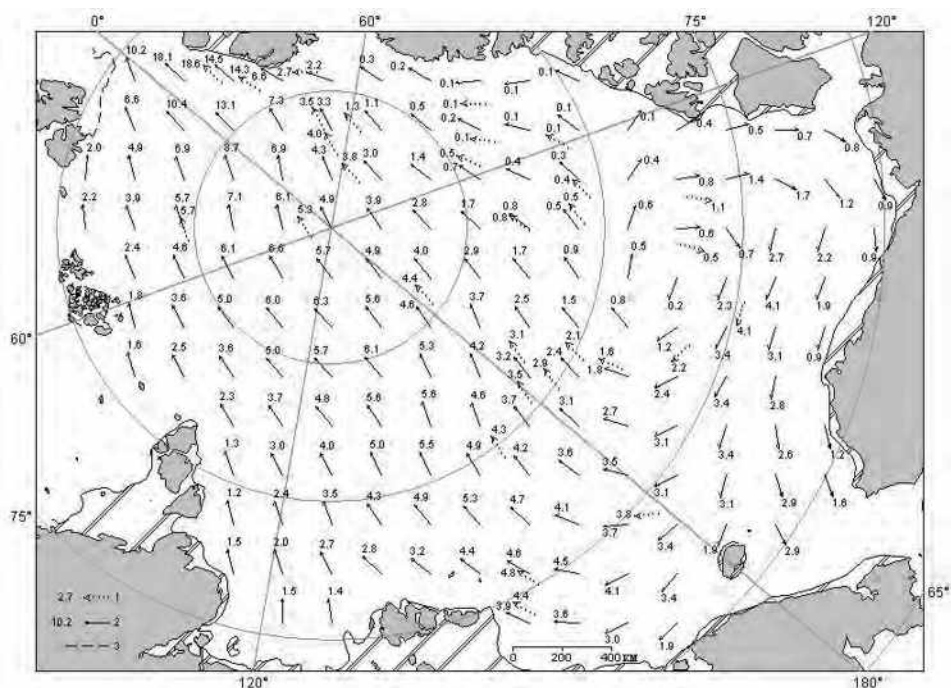


Рис. 2.1.8. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в марте 2015 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.1.2.

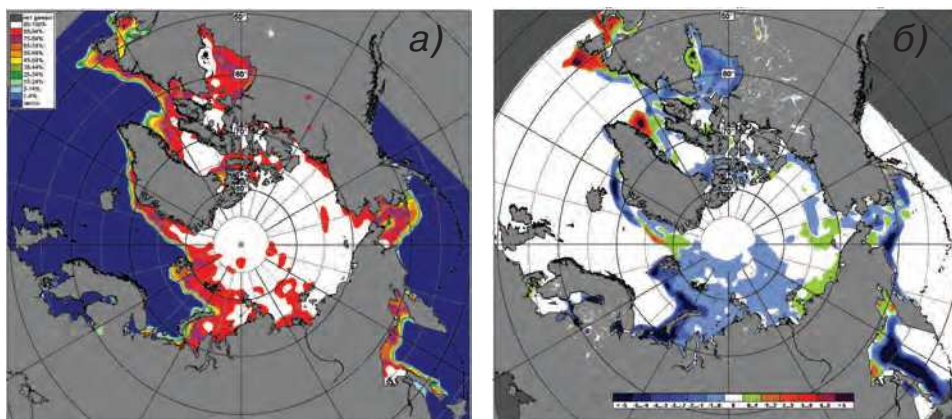


Рис. 2.1.9. Медианное распределение сплоченности льда в марте 2015 г. (а) и ее разность относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS, алгоритм NASATEAM.

В конце первого квартала в СЛО сложилась следующая ледовая обстановка. Позднее начало ледообразования и средняя интенсивность нарастания льда в морях в течение зимних месяцев 2015 г. привели к формированию пониженной толщины льда.

Площадь припая во всех российских арктических морях была меньше средних многолетних значений; исключение составил припай Новосибирских островов,

который был развит близко к норме. До конца не сформировался припай в проливе Вилькицкого. В середине марта суммарная площадь припая в российских арктических морях составила 383 тыс. км² при норме 553 тыс. км², что на 30 % меньше средних многолетних значений.

В морях СЛО преобладали однолетние льды, среди которых значительную долю составляли однолетние толстые льды (толщиной более 120 см). Многолетние льды располагались в небольшой части приполюсного района, гренландском, канадском и аляскинском секторах Арктики. Обширный язык двухлетних льдов отмечался в северной части Восточно-Сибирского моря. Вдоль восточного побережья Гренландии наблюдался протяженный язык старых льдов, образовавшийся в результате выноса льдов из Арктического бассейна через пролив Фрама. Площадь старых льдов составляла до 40 % всей площади льдов на акватории СЛО.

Общее количество льдов в СЛО в конце первого квартала 2015 г. было на 6,5 % меньше среднего многолетнего значения. Отрицательная аномалия ледовитости СЛО сформировалось за счет малой ледовитости морей гренландского сектора и западного района российского сектора Арктики (см. рис. 2.4.10).

В секторах 45° з.д. – 95° в.д. (Гренландское — Карское моря) и 95° в.д. – 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское) количество льда в конце марта было на 12–13 % меньше средних многолетних значений. В секторе 170–45° з.д. (море Бофорта и Канадская Арктика) количество льда было близко к среднему многолетнему значению (рис. 2.4.10).

А.В. Юлин, В.П. Карклин, Е.А. Усольцева, А.Б. Тимофеева

2.2. РАЗВИТИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД (АПРЕЛЬ — ИЮНЬ)

Развитие ледовых условий в начале весеннего периода 2015 г. происходило на фоне адвекции теплых воздушных масс и формирования положительных аномалий температуры воздуха в Арктике. Особенно большие положительные аномалии температуры воздуха наблюдались в западном районе российского сектора Арктики, над Баренцевым и Карским морями, а также над западной частью моря Лаптевых.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градам и поля среднемесячного дрейфа на каждый месяц за период апрель — июнь 2015 г. приведены на рис. 2.2.1 – 2.2.10.

В апреле на акватории СЛО произошли существенные качественные изменения в возрастном составе ледяного покрова. Практически на всей акватории СЛО однолетний лед перешел в возрастную градацию однолетних толстых льдов. Только в западном районе российского сектора Арктики (в Баренцевом и Карском морях) и юго-восточной части Чукотского моря в течение апреля наблюдались однолетние средние льды и небольшое количество тонких льдов. Заприпайные полыньи в арктических морях были развиты крайне слабо.

Старые льды наблюдались в канадском, гренландском и аляскинском секторах, а также в небольшой части приполюсного района Арктики. В северной части Восточно-Сибирского моря сохранялся обширный язык двухлетних льдов (рис. 2.2.1).

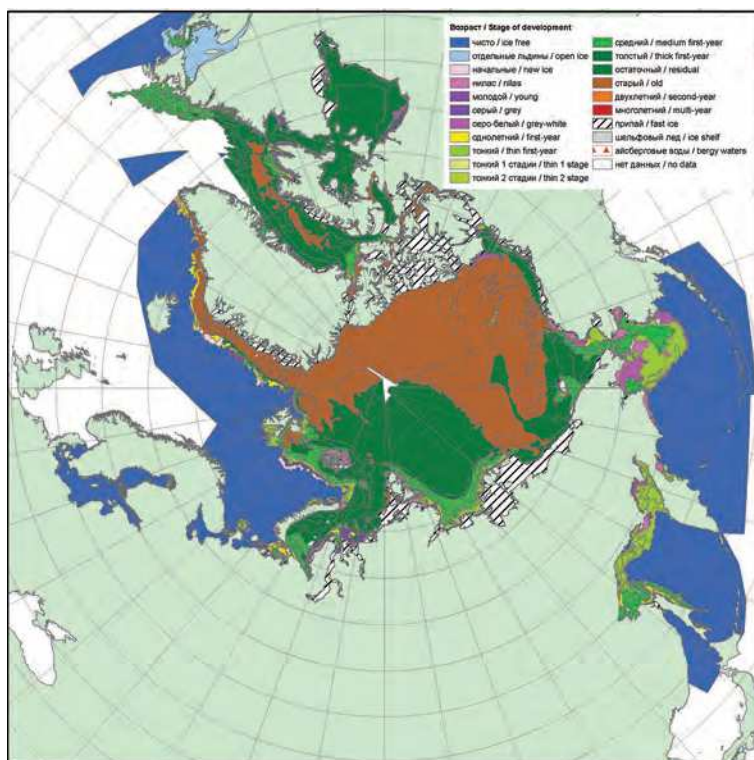


Рис. 2.2.1. Обзорная ледовая карта СЛО за 20–21 апреля 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

Основные структуры дрейфа в СЛО — Трансарктический перенос льда и Канадский антициклонический круговорот — были хорошо развиты, хотя их центры были смещены относительно своего среднего положения. Стрежень Трансарктического переноса льда был смещен к Новосибирским островам, что явилось причиной выноса однолетних льдов из морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в приполюсный район. Далее из приполюсного района в результате трансарктического дрейфа старые льды выносились в пролив Фрама вдоль восточного побережья Гренландии. Центр Канадского антициклонического круговорота был смещен к побережью Канадского Арктического архипелага. По южной его периферии наблюдался перенос льдов вдоль аляскинского побережья в Чукотское и Восточно-Сибирское моря и Берингов пролив (рис. 2.2.2).

В поле сплоченности ледяного покрова прослеживалась обширная однородность. Области пониженной сплоченности наблюдались в Гренландском, Баренцевом и Карском морях, откуда лед выносился в результате Трансарктического переноса (на рис. 2.2.3 б зоны, выделенные синим цветом). Области повышенной сплоченности наблюдались в прибрежной зоне моря Бофорта и в районе Новосибирских островов, куда был направлен поток льда в результате переноса по периферии Канадского антициклонического круговорота (на рис. 2.2.3 б зоны, выделенные зеленым цветом).

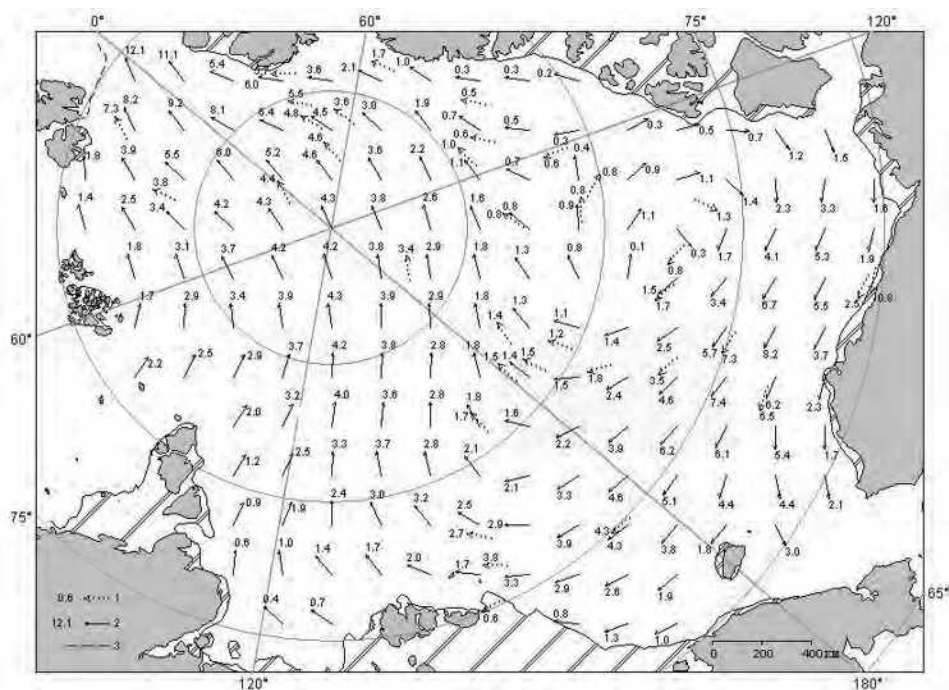


Рис. 2.2.2. Поле скорости результирующего дрейфа льда за апрель 2015 г.

1 — направление и скорость (км/сут) дрейфа автоматического буя, 2 — результаты расчета в узле сетки, 3 — кромка молодого льда.

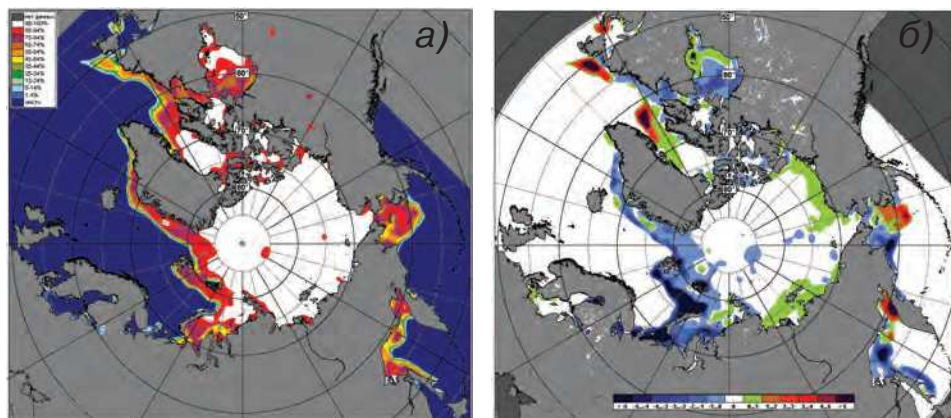


Рис. 2.2.3. Медианные распределения сплоченности льда в апреле 2015 г. (а) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS.

В конце мая, который считается периодом максимального развития ледяного покрова, в структурном составе льдов всего бассейна Северного Ледовитого океана преобладали однолетние толстые льды, площадь которых составляла около 50 % общей площади льда. Около 40 % общего количества льда составляли старые льды. Остальное количество льдов было представлено однолетними средними и тонкими

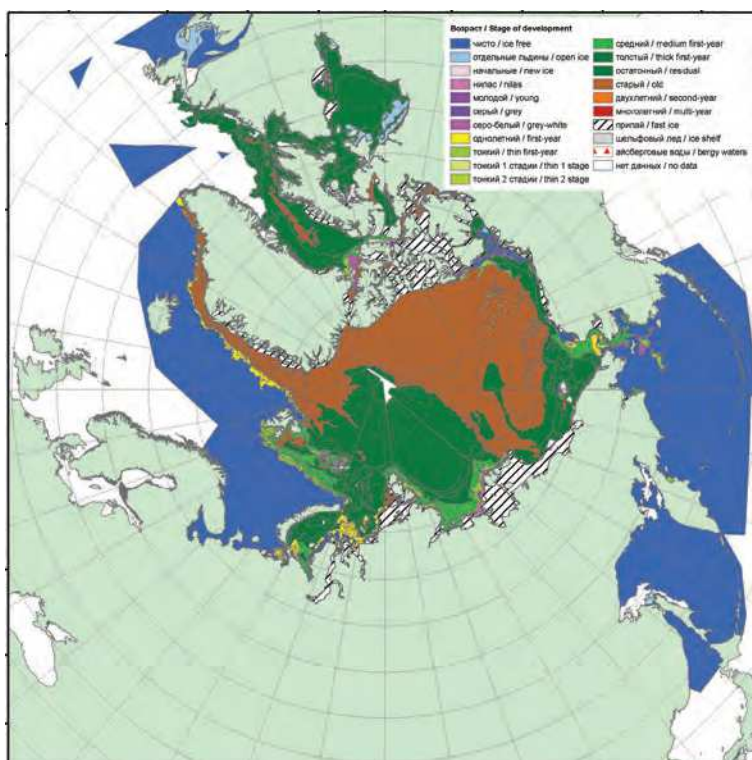


Рис. 2.2.4. Обзорная ледовая карта СЛО за 18–19 мая 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

льдами, а также молодыми льдами, которые наблюдалось в прикромочных областях морей российского и гренландского секторов Арктики (в Баренцевом, Гренландском и Чукотском морях) и заприпайных полыньях.

Однолетние льды занимали весь западный район российского сектора Арктики, часть гренландского сектора и более половины приполюсного района. Старые льды наблюдались преимущественно в канадском, гренландском и аляскинском секторах Арктики и частично в восточном районе российского сектора (в северной части Восточно-Сибирского моря) (рис. 2.2.4).

В поле дрейфа льдов сохранялось четко выраженное развитие основных структур дрейфа — Трансарктического переноса и Канадского антициклонического круговорота.

Стрежень Трансарктического переноса был смещен в северную часть моря Лаптевых. Дрейф льдов, направленных к побережью Гренландии и далее в пролив Фрама, обусловил вынос льдов из морей западного района российского сектора Арктики (Баренцева, Карского, Лаптевых). В результате устойчивого выноса старых льдов из приполюсного района в нем стали преобладать однолетние льды, принесенные сюда из северной части моря Лаптевых.

Центр Канадского антициклонического круговорота наблюдался в северной части моря Бофорта. Прибрежная ветвь дрейфа, идущая вдоль побережья Аляски, обусловила вынос льдов из моря Бофорта в моря Чукотское и Восточно-Сибирское (рис. 2.2.5).

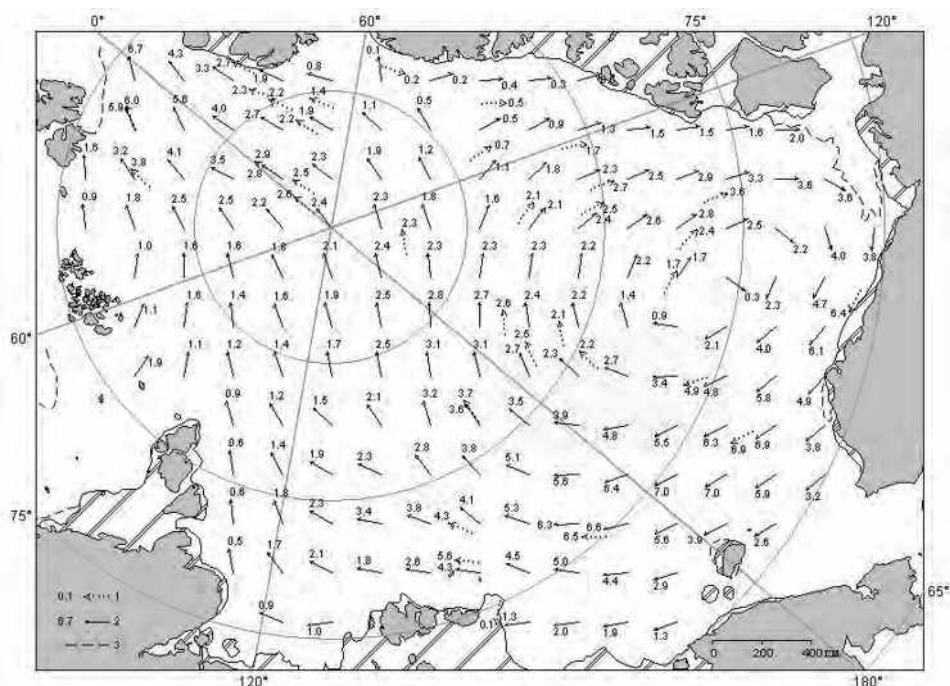


Рис. 2.2.5. Поле скорости результирующего дрейфа льда за май 2015 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.2.2.

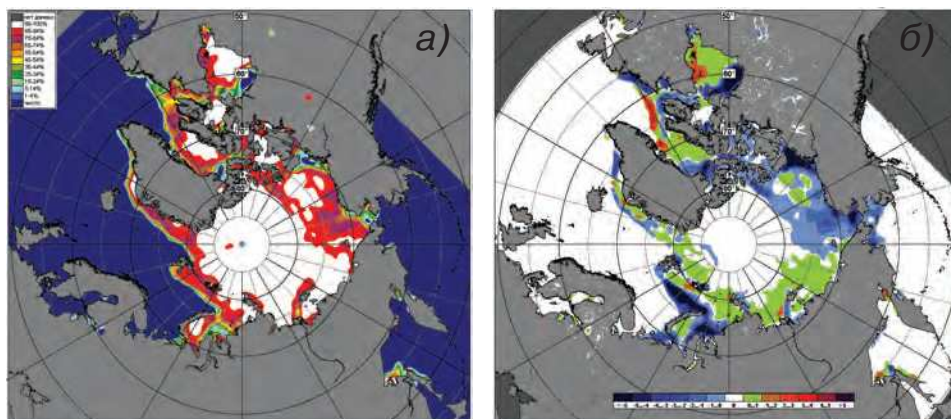


Рис. 2.2.6. Медианные распределения сплоченности льда в мае 2015 г. (а) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS.

В распределении сплоченности льдов в связи с развитием основных структур дрейфа наблюдались отрицательные аномалии сплоченности льда в западных окраинных морях, (Баренцево, Карское) и в море Бофорта (на рис. 2.2.6 б зоны, выделенные синим цветом). В морях восточного района российского сектора Арктики, куда лед приносился, и в Гренландском секторе наблюдались положительные аномалии сплоченности льда (на рис. 2.2.6 б зоны, выделенные зеленым цветом).

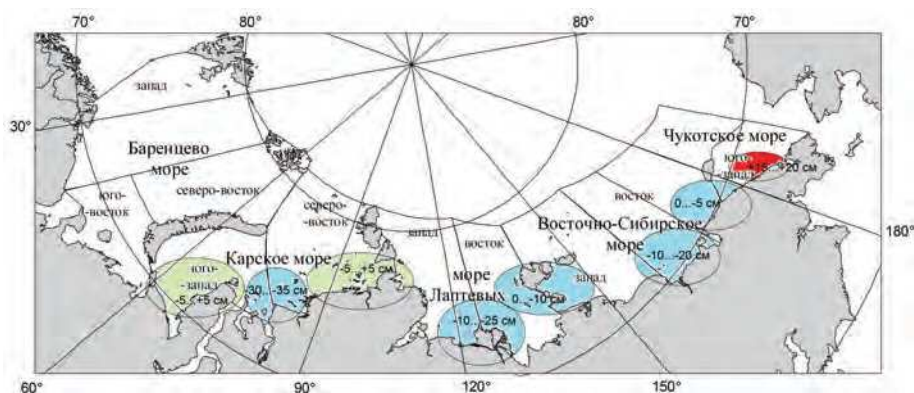


Рис. 2.2.7. Аномалии толщины льда в морях российского сектора Арктики по данным полярных станций в период максимального нарастания льда (конец мая) в 2015 г.

Интенсивность возрастания толщины льда в весенний период была выше нормы во всех морях российского сектора Арктики. Это несколько уменьшило отрицательные аномалии толщины льда, которые сформировались в зимний период, и, таким образом, толщина льда приблизилась к норме. По данным полярных станций аномалии толщины льда в конце периода его нарастания везде были отрицательными (кроме Карского моря) и составляли $-5 \dots -20$ см (рис. 2.2.7).

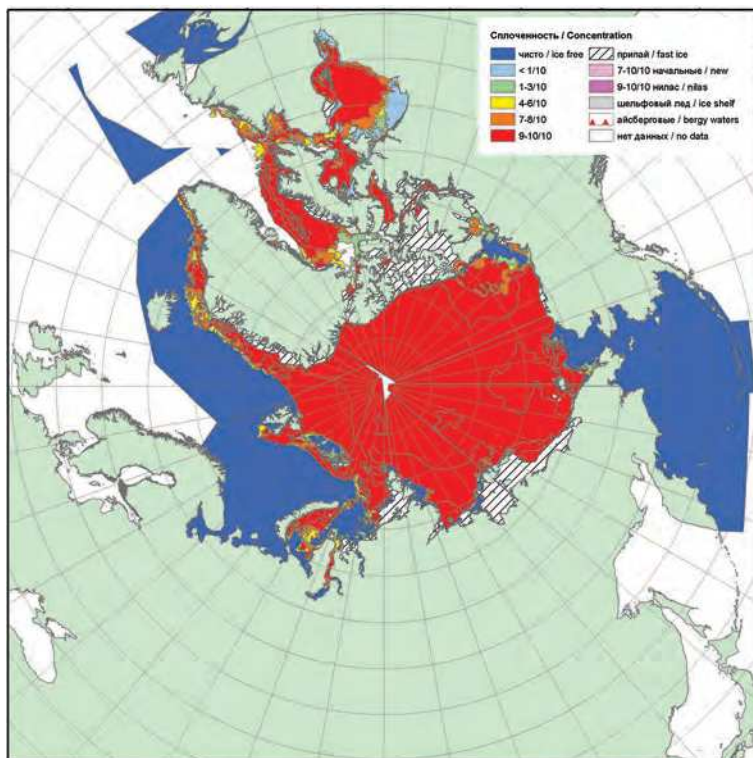


Рис. 2.2.8. Обзорная ледовая карта СЛО за 15–16 июня 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

В июне началось чрезвычайно быстрое очищение окраинных морей российского сектора Арктики — Баренцева, Карского и Чукотского. В этих морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости. В Карском море аномалия ледовитости в третьей декаде июня составила -30% , в Чукотском море -20% . Очищение морей было связано в первую очередь с адвекцией тепла в эти районы, выносным характером дрейфа и постоянным наличием заприпайных полыней, в которых развивались интенсивные процессы таяния и разрушения льда (рис. 2.2.8).

В поле дрейфа наблюдалось обширное развитие Трансарктического переноса, стрежень которого совпадал с положением меридианов $0-180^\circ$ и был направлен в пролив Фрама. Наблюдался вынос льдов из всех окраинных арктических морей — от Баренцева до Бофорта. Канадский антициклонический круговорот наблюдался в виде слабо выраженного круговорота у побережья Аляски (рис. 2.2.9).

В результате интенсивного выноса льда из всех морей российского сектора Арктики и моря Бофорта в них сформировались обширные разрежения. В поле сплоченности ледяного покрова во всех окраинных арктических морях сформировались крупные отрицательные аномалии сплоченности (на рис. 2.2.10 б зоны, выделенные синим цветом).

Зоны положительной аномалии сплоченности сформировались в зонах, куда был направлен поток льда, в гренландском секторе Арктики (на рис. 2.2.10 б зоны, выделенные зеленым цветом).

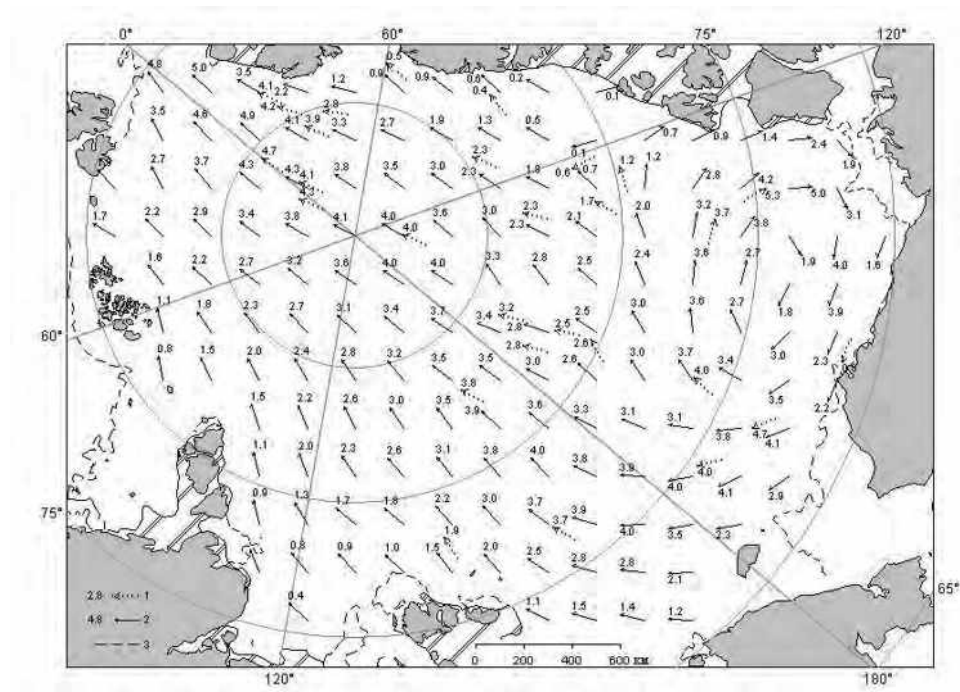


Рис. 2.2.9. Поле скорости результирующего дрейфа льда за июнь 2015 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.2.2.

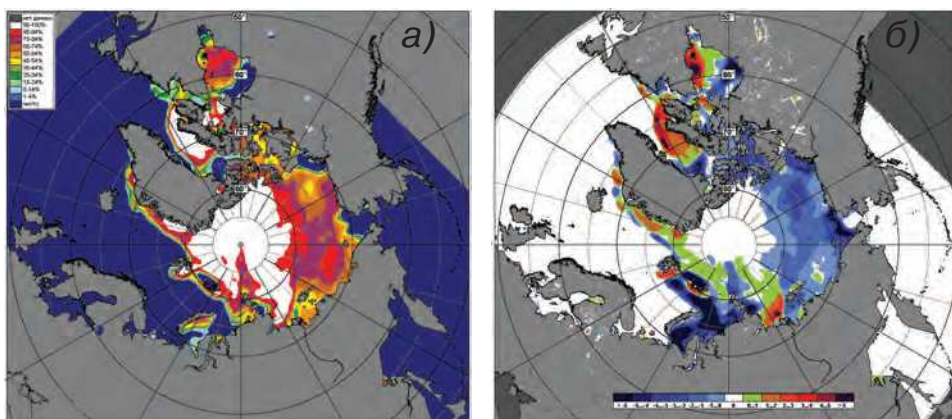


Рис. 2.2.10. Медианные распределения сплоченности льда в июне 2015 г. (а) и ее разность относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS.

Общее количество льдов в СЛО во втором квартале года оказалось на 7,5 % меньше среднего многолетнего значения за счет малой ледовитости морей в двух секторах СЛО — секторе 45° з.д. – 95° в.д. (Гренландское – Карское моря) и секторе 95° в.д. – 170° з.д. (моря Лаптевых – Чукотское и Берингово, Охотское) (рис. 2.4.10).

С.В. Хотченков, А.В. Юлин

2.3. РАЗВИТИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД (ИЮЛЬ — СЕНТЯБРЬ)

К началу летнего периода в Северном Ледовитом океане сложились следующие гидрометеорологические и ледовые условия: наблюдались положительные аномалии температуры воздуха в Арктике, сохранялось преобладание однолетних льдов в морях российского сектора Арктики, в северной части Восточно-Сибирского моря наблюдалось значительное количество двухлетних льдов, а в самом СЛО произошло смещение основного массива старых льдов в канадский и аляскинский секторы Арктики.

В структурном составе льдов в СЛО преобладали однолетние льды (преимущественно однолетние толстые), площадь которых составляла около 60 % общей площади льдов. Около 40 % общего количества льдов составляли старые льды.

В июне началось быстрое очищение окраинных морей российского сектора Арктики — Баренцева, Карского и Чукотского. В этих морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости. В морях восточного района российского сектора Арктики и в море Бофорта аномалии ледовитости были близки к норме.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и поля среднемесячного дрейфа на каждый месяц за период июль — сентябрь 2015 г. приведены на рис. 2.3.1–2.3.9.

В июле продолжалось интенсивное очищение морей западного района российского сектора Арктики (Баренцева, юго-западной части Карского и Лаптевых) и Чукотского моря. К концу июля значительная часть акватории этих морей очистилась от дрейфующих льдов и аномалии ледовитости в них составили $-40\ldots-55\%$.

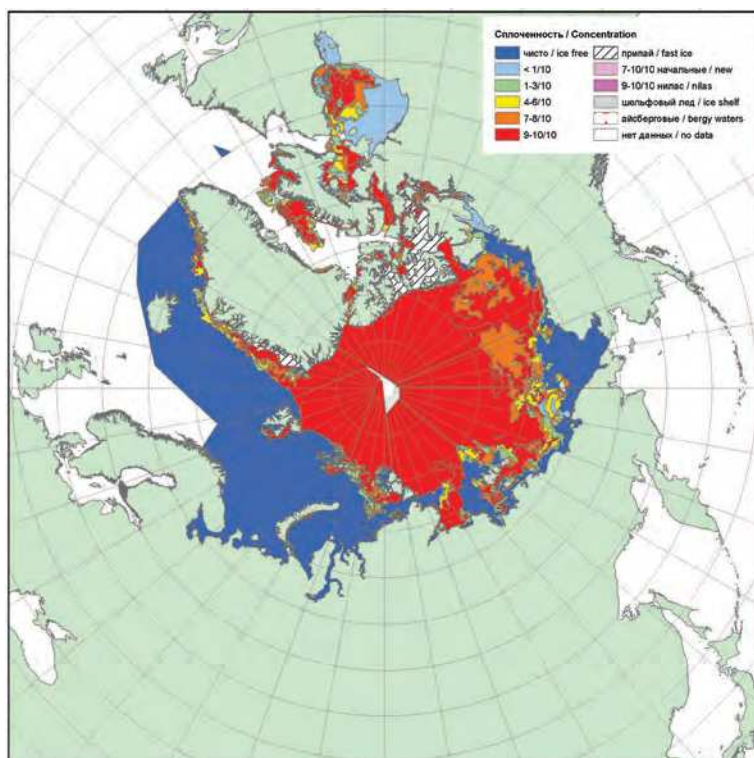


Рис. 2.3.1. Обзорная ледовая карта за 20–21 июля 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

Большое количество льдов сохранялось в северо-восточной части Карского моря и в морях Восточно-Сибирском и Бофорта. Развитие ледовых условий в этих районах было близким к средним многолетним условиям (рис. 2.3.1).

Дрейф ледяного покрова в июле приведен на рис. 2.3.2. В поле дрейфа льда наблюдалось хорошо выраженное развитие основных структур дрейфа — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота.

Стрежень Трансарктического переноса льда располагался на линии северная часть Восточно-Сибирского моря — северное побережье Гренландии. Наблюдался интенсивный вынос льдов из морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

Центр Канадского антициклонического круговорота был смещен к полюсу и располагался в северной части моря Бофорта на широте 82° . Его развитие обусловило поступление старых льдов в море Бофорта, интенсивный прибрежный перенос льдов вдоль побережья Аляски и их поступление в северные районы Чукотского и Восточно-Сибирского морей.

Общая ледовитость в СЛО в июле была меньше нормы. Основной вклад в формирование отрицательной аномалии поля сплоченности льда вносили все окраинные моря СЛО (на рис. 2.3.3 б зоны, выделенные синим цветом). Положительные аномалии сплоченности льда наблюдались в северной части Восточно-Сибирского моря, а также в приполюсном районе и районе Гренландии, куда был направлен основной вынос льдов (на рис. 2.3.3 б зоны, выделенные зеленым и красным цветами).

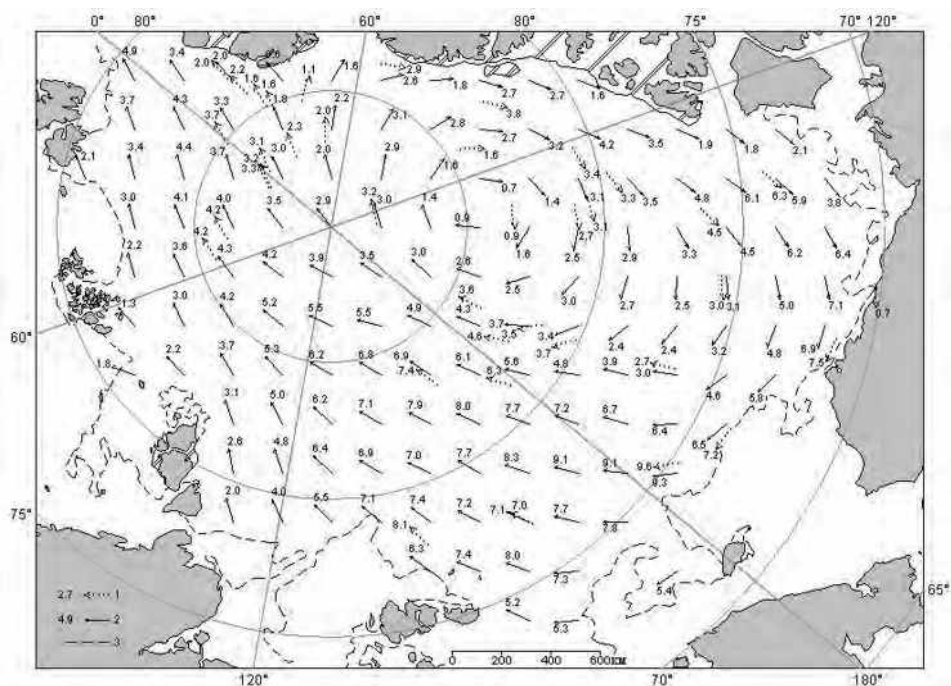


Рис. 2.3.2. Поле скорости результирующего дрейфа льда за июль 2015 г.

1 — направление и скорость (км/сут) дрейфа автоматического буя, 2 — результаты расчета в узле сетки, 3 — кромка молодого льда.

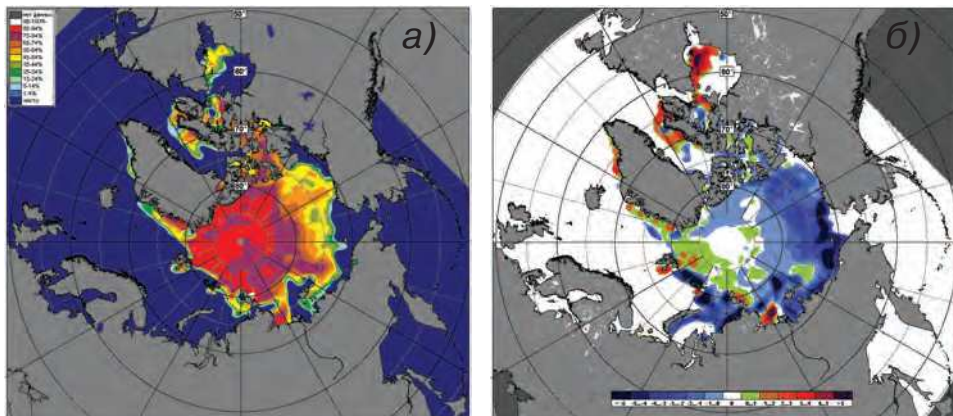


Рис. 2.3.3. Медианное распределение сплоченности льда в июле 2015 г. (а) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I, алгоритм NASATEAM.

Припай в российских арктических морях в первой половине июля полностью разрушился, что произошло в среднем на 5–10 суток раньше средних многолетних сроков.

В течение августа продолжалось дальнейшее сокращение площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане. Уменьшение ледовитости происходило в основном за счет разрушения льдов во всех морях российского сектора Арктики.

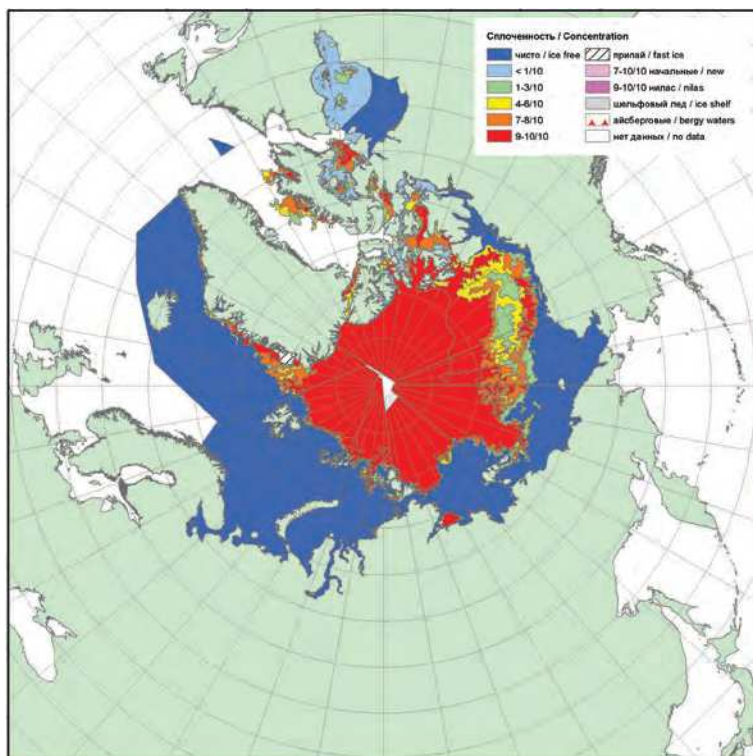


Рис. 2.3.4. Обзорная ледовая карта за 17–18 августа 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

Большая часть арктических морей российского сектора Арктики и прибрежная часть моря Бофорта очистились от льда. Сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости в арктических морях, составляющие $-40\ldots-60\%$.

Граница отступления дрейфующих льдов на север в море Лаптевых в августе 2015 г. превзошла все наблюдающиеся до этого (в 2012 и 2014 гг.) исторические минимумы развития ледяного покрова. Только в северной части Восточно-Сибирского моря сохранялось большое количество двухлетних льдов (рис. 2.3.4).

В августе в поле дрейфа произошли существенные изменения. При сохранении основных структур дрейфа наблюдалось изменение их положения и интенсивности. Стрежень Трансарктического переноса льда сместился на линию северная часть моря Лаптевых – северное побережье Гренландии. Это обусловило интенсивный вынос льдов из моря Лаптевых и экстремальное смещение границы дрейфующих льдов к северу. Канадский антициклонический круговорот сместился в северную часть моря Бофорта, существенно уменьшился в размерах и поддерживал поступление льдов из моря Бофорта в северную часть Восточно-Сибирского и Чукотского морей (рис. 2.3.5).

В результате смещения массива арктических льдов к побережью Гренландии и островам Канадского Арктического архипелага и переноса льда из моря Бофорта в Восточно-Сибирское в этих районах сформировались небольшие положительные аномалии сплоченности льда (на рис. 2.3.6 б зоны, выделенные зеленым и красным

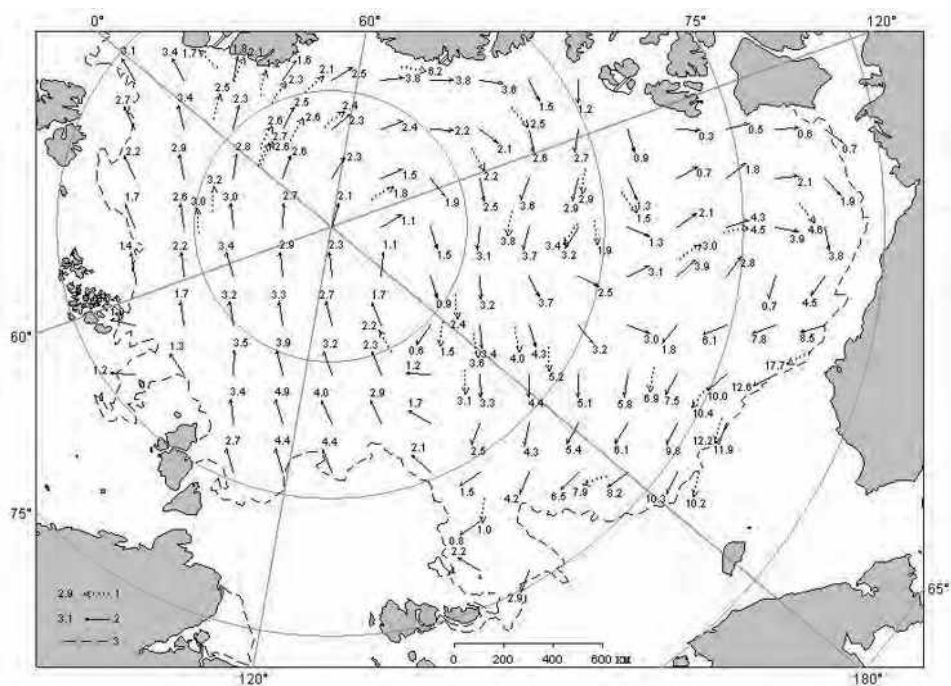


Рис. 2.3.5. Поле скорости результирующего дрейфа льда за август 2015 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.3.2.

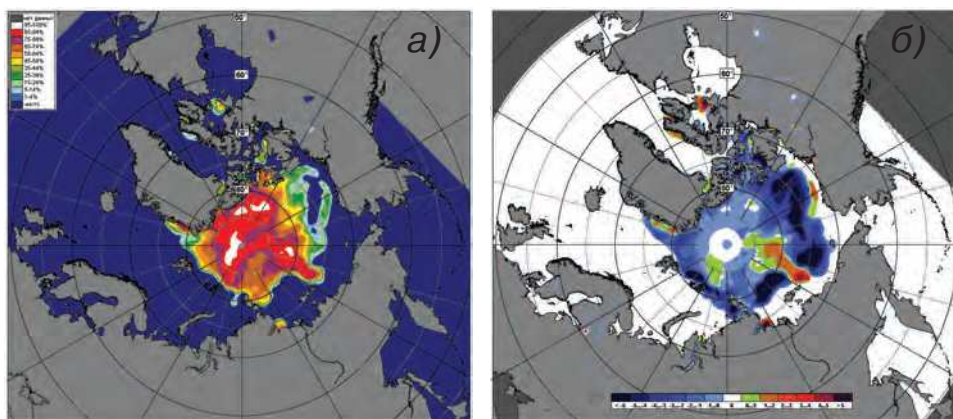


Рис. 2.3.6. Медианное распределение сплоченности льда в августе 2015 г. (а) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I, алгоритм NASATEAM.

цветом). В морях Гренландском, Баренцевом, Карском, Лаптевых и Бофорта в результате интенсивного таяния и разрушения льдов сформировались отрицательные аномалии сплоченности льда (на рис. 2.3.6 б зоны, выделенные синим цветом).

В течение первой половины сентября продолжалось сокращение площади ледяного покрова в СЛО и в тех морях, в которых еще сохранялись остаточные льды, — на северо-востоке Карского моря и в морях Восточно-Сибирском и Бофорта.

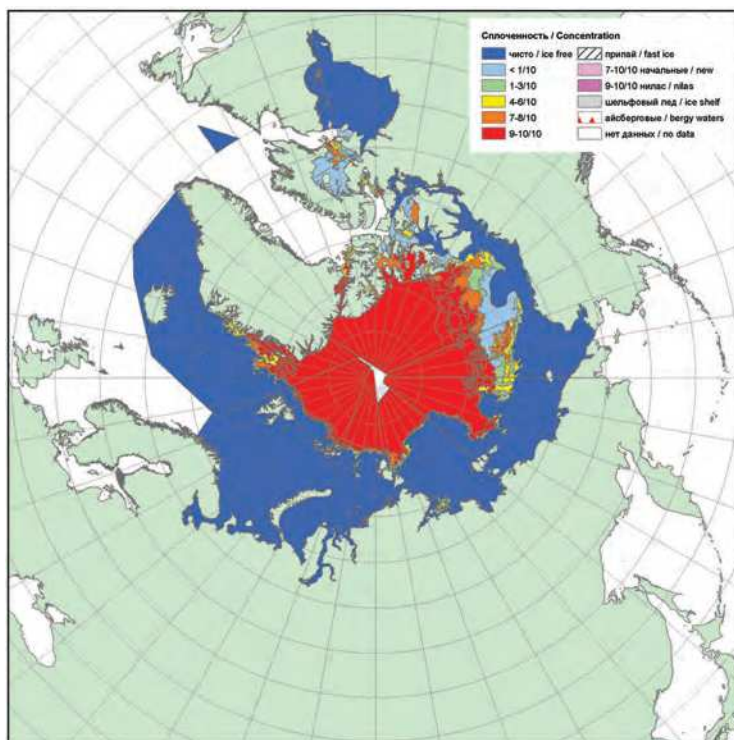


Рис. 2.3.7. Обзорная ледовая карта за 14–15 сентября 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

В середине сентября в прикромочной зоне к северу от параллели 82°с.ш. началось ледообразование — в среднем на 10–15 суток позже средних многолетних сроков. В конце сентября волна ледообразования подошла к северным границам арктических морей. Ледообразование также стало отмечаться в зонах остаточных льдов в морях Восточно-Сибирском и Бофорта.

Основная масса льдов, сохранившихся после периода летнего таяния в Северном Ледовитом океане, была смещена в приполюсный район, гренландский и канадский секторы Арктики. Небольшое количество остаточных льдов наблюдались в западных частях морей Лаптевых и Восточно-Сибирском. (рис. 2.3.7).

Дрейф ледяного покрова приведен на рис. 2.3.8. В сентябре в поле дрейфа льда существенных изменений не наблюдалось. Трансарктический перенос льда, стрежень которого сохранил свое положение, поддерживал вынос льдов из моря Лаптевых. Канадский антициклонический круговорот был развит слабо и наблюдался в северной части моря Бофорта.

В сентябре сохранились значительные отрицательные аномалии сплоченности льда у северных границ всех арктических морей (на рис. 2.3.9 б зоны, выделенные синим цветом). Положительные аномалии сплоченности сохранялись в приполюсном районе и гренландском секторе Арктики (на рис. 2.3.9 б зоны, выделенные зеленым и красным цветом).

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2015 г. составила 4,5 млн км² при норме 6,3 млн км², и, та-

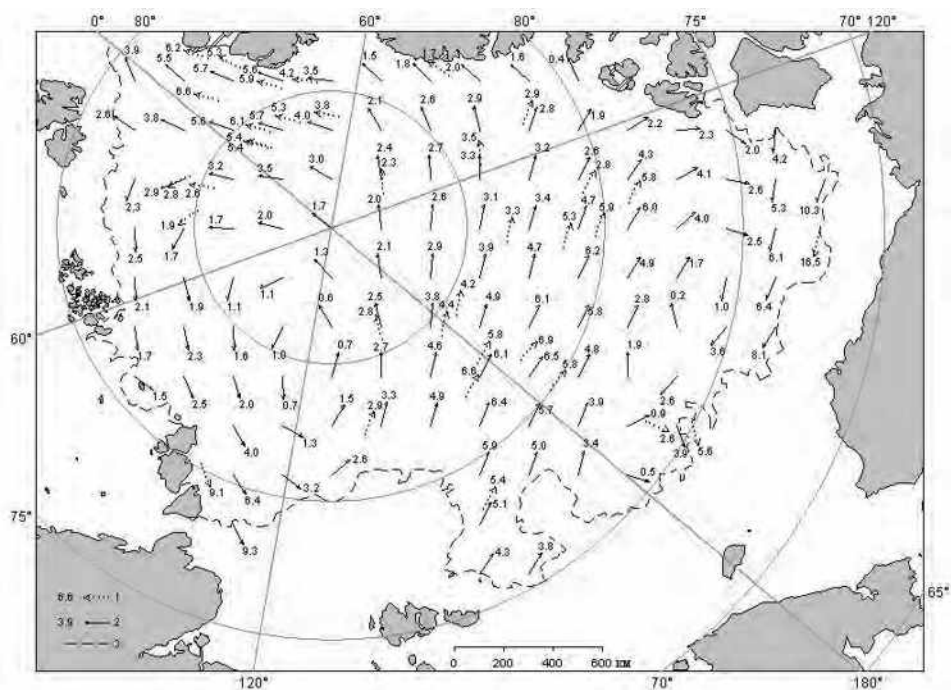


Рис. 2.3.8. Поле скорости результирующего дрейфа льда за сентябрь 2015 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.3.2.

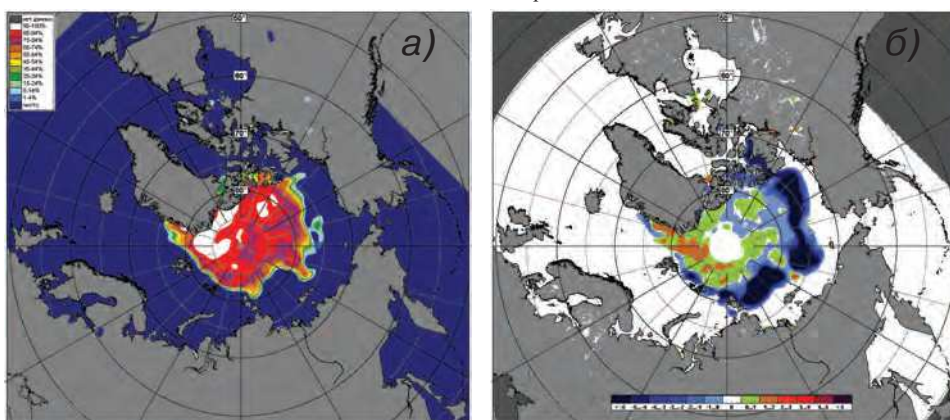


Рис. 2.3.9. Медианное распределение сплоченности льда в сентябре 2015 г. (а) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I, алгоритм NASATEAM.

ким образом, оказалась на 28,5 % меньше средних многолетних значений. Значения общей ледовитости в СЛО и в его отдельных секторах оказались меньше средних многолетних значений за длинный (1978–2015 гг.) и короткий (2004–2015 гг.) ряды наблюдений. Однако остаточная ледовитость в СЛО в 2015 г. существенно превышала остаточную ледовитость, наблюдавшуюся в аномально легких в отношении ледовой обстановки 2007 и 2012 гг. (на 0,5–1,0 млн км²).

Медианные значения ледовитости (S) за 14–20 сентября 2015 г. и ее аномалии по отношению к значениям за различные годы и периоды 2004–2015 и 1978–2015 гг. по данным наблюдений SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM

Район, сектор	S, тыс. км ²	Аномалия, тыс. км ²						
		2010	2011	2012	2013	2014	2004– 2015	1978– 2015
СЛО	4513,1	–203,2	–38,5	1080,3	–564,3	–537,0	–282,7	–1659,8
45°з.д. — 95°в.д. (Гренландское — Карское моря)	1232,8	–93,0	9,5	225,2	389,8	–155,6	–14,3	–20,2
95°в.д. — 170°з.д. (моря Лаптевых — Чукотское, Берингово, Охотское)	1173,2	–164,0	–95,5	407,3	–363,9	–64,8	–127,8	–849,0
170°з.д. — 45°з.д. (море Бофорта и канадская Арктика)	2107,1	53,7	147,4	447,8	–590,2	–316,6	–140,7	–590,6

Данные по ледовитости для Северного Ледовитого океана в целом и для его отдельных секторов на середину сентября, а также их сравнение со значениями ледовитости за последние пять лет приведены в табл. 2.3.1.

На рис. 2.4.10 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северной полярной области и ее отдельных секторов за период с 26 октября 1978 г. по 31 декабря 2015 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM. Ход ледовитости показывает, что в течение зимнего, весеннего и летнего периодов количество льда в целом по СЛО и в его отдельных секторах было практически все время меньше среднего многолетнего значения ледовитости (нормы за 1978–2015 гг.), но не опускалось ниже крайних экстремальных значений, которые наблюдались в 2007 и 2012 гг. Значения ледовитости в 2015 г. оказались третьими по рангу лет минимальных значений.

В.М. Смоляницкий, А.В. Юлин

2.4. РАЗВИТИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД (ОКТЯБРЬ—ДЕКАБРЬ)

Распределение ледяного покрова по сплоченности и возрастным градациям и поля среднемесячного дрейфа за каждый месяц за период октябрь — декабрь 2015 г. приведены на рис. 2.4.1–2.4.9.

Ледообразование в осенний период 2015 г. началось позже средних многолетних сроков, но характеризовалось большой интенсивностью. Площадь молодых льдов, появившихся в СЛО с середины сентября по середину октября, составила около 2,5 млн км² (на 0,5 млн км² больше среднего многолетнего значения).

В начале октября волна ледообразования наблюдалась на северной границе всех арктических морей. В середине октября начальные и молодые льды появились в прибрежной части всех арктических морей за исключением Баренцева, юго-западной части Карского и Чукотского морей.

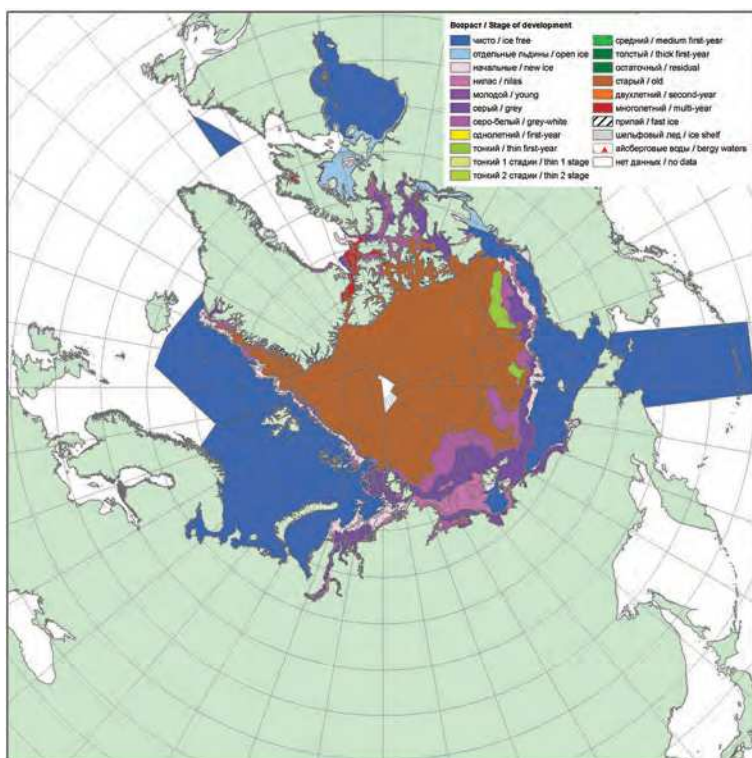


Рис. 2.4.1. Обзорная ледовая карта за 19–20 октября 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

Высокая интенсивность ледообразования наблюдалась в северо-восточной части Карского моря, море Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря. В течение октября акватории этих морей полностью покрылись молодыми льдами, а среди остаточных льдов в СЛО в третьей декаде октября уже наблюдались однолетние тонкие льды (рис. 2.4.1).

В октябре Трансарктический перенос льда был развит слабо. Стрежень его был смещен к западу и располагался по линии северная оконечность архипелага Северная Земля — пролив Фрама. Слабое развитие Трансарктического переноса обусловило слабый вынос льдов из морей Карского и Лаптевых. В противоположность Трансарктическому переносу Канадский антициклонический круговорот был развит хорошо. Центр его располагался в море Бофорта. В круговорот были вовлечены льды на обширной акватории СЛО, расположенной к востоку от линии меридианов 60° з.д. – 120° в.д. (рис. 2.4.2).

В поле сплоченности ледяного покрова сформировались две хорошо выраженные зоны. Зона пониженной сплоченности наблюдалась в Гренландском море и в морях западного района российского сектора Арктики, акватории которых в течение всего октября оставались свободными от льда (на рис. 2.4.3 б зоны, выделенные синим цветом). Зона повышенной сплоченности наблюдалась в море Бофорта, а также в северных частях Восточно-Сибирского и Чукотского морей, в которые лед приносило прибрежной ветвью Канадского антициклонического круговорота (на рис. 2.4.3 б зоны, выделенные зеленым цветом).

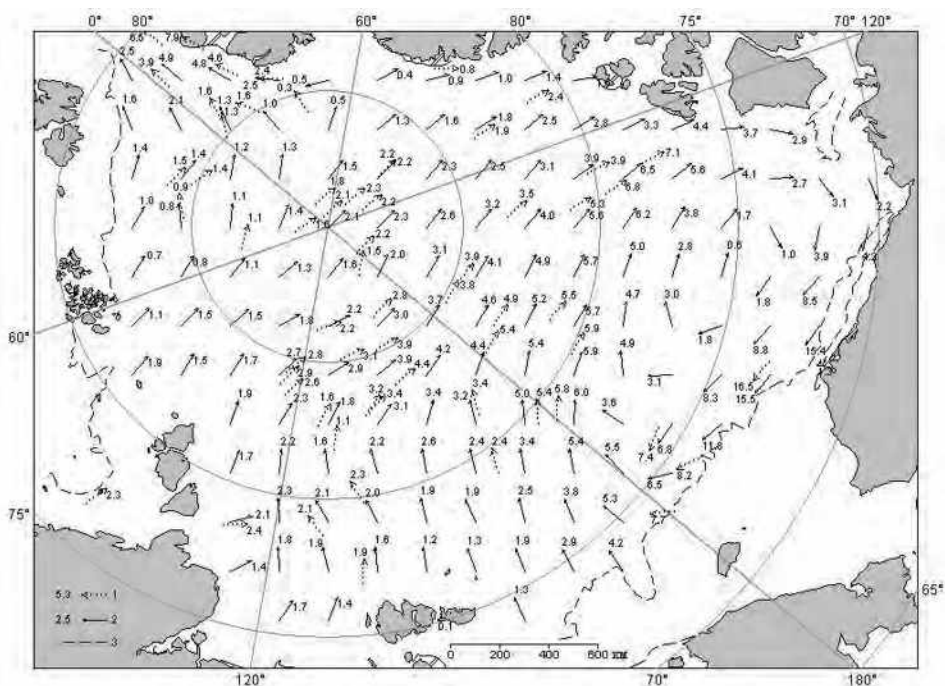


Рис. 2.4.2. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в октябре 2015 г.
1 — направление и скорость (км/сут) дрейфа автоматического буя, 2 — результаты расчета в узле сетки, 3 — кромка молодого льда.

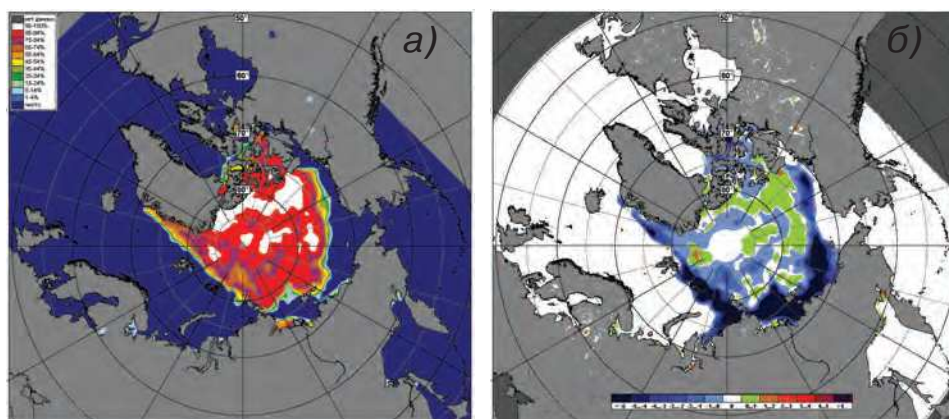


Рис. 2.4.3. Медианное распределение сплоченности льда в октябре 2015 г. (а) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I, алгоритм NASATEAM.

В ноябре продолжалось интенсивное ледообразование и увеличение толщины льда в самом бассейне и во всех окраинных морях, кроме Баренцева, юго-западной части Карского и юго-западной части Чукотского моря. Интенсивность нарастания льда хорошо прослеживается по появлению однолетних тонких льдов на акватории морей. Если в начале ноября в морях преобладали молодые льды, то в середине

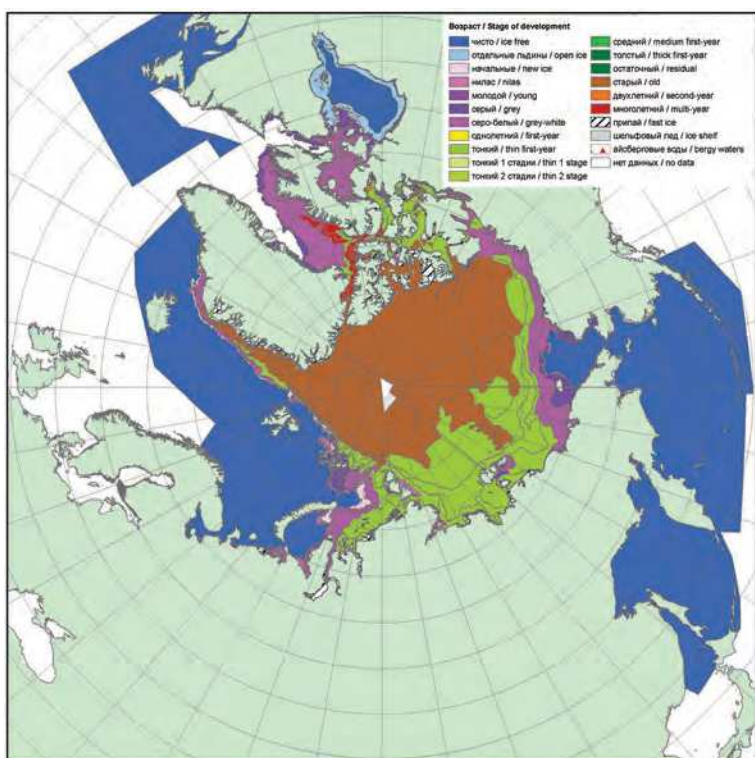


Рис. 2.4.4. Обзорная ледовая карта за 16–17 ноября 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

ноября на значительной части акватории наблюдались уже однолетние тонкие льды (диапазон толщины 30–70 см).

Общая площадь льдов, появившихся в СЛО с середины сентября по середину ноября, составила приблизительно 5,5 млн км² (на 1,1 млн км² больше среднего многолетнего значения).

Зоны преобладания старых льдов занимали весь приполюсный район, а также гренландский, канадский и часть аляскинского секторов Арктики. Три гигантских протяженных отрога старых льдов наблюдались в северной части морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Общая площадь старых и остаточных после летнего таяния льдов составляла более 55 % площади СЛО (рис. 2.4.4).

В ноябре наблюдалось хорошее развитие Трансарктического переноса льда, который охватил западный район российского сектора Арктики, приполюсный район и гренландский сектор СЛО. Наблюдался вынос льдов из морей Карского и Лаптевых к побережью Гренландии и далее в пролив Фрама. Однако даже вынос льдов не смог замедлить общее увеличение количества молодых и однолетних льдов в этих морях. Канадский антициклонический круговорот был также хорошо развит и наблюдался в северной части моря Бофорта. Необычным явлением в общей схеме дрейфа стал мощный восточный прибрежный перенос льдов, наблюдающийся в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. Этот перенос благоприятствовал быстрому развитию ледообразования на акваториях этих морей (рис. 2.4.5).

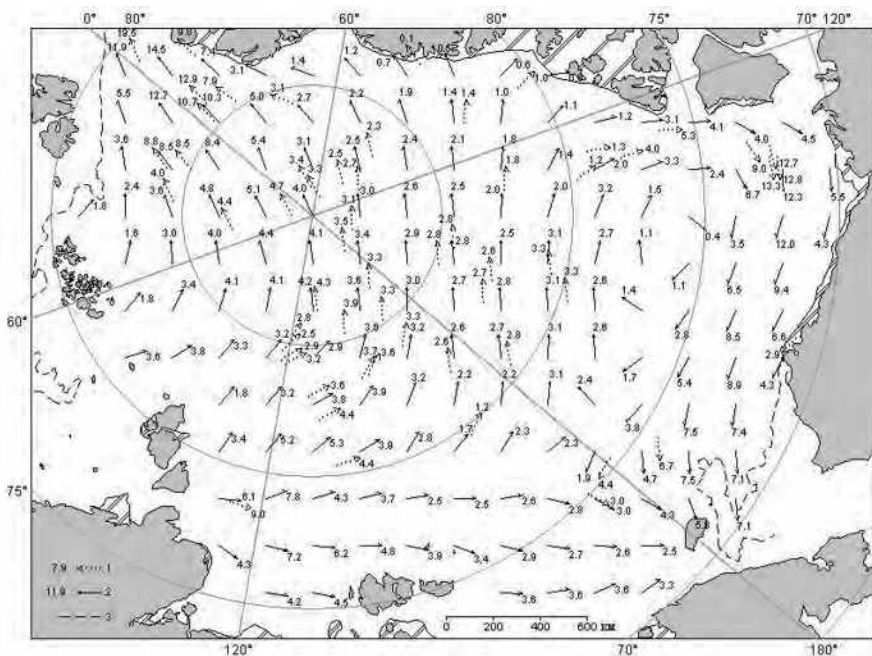


Рис. 2.4.5. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в ноябре 2015 г.
Усл. обозначения см. рис. 2.4.2.

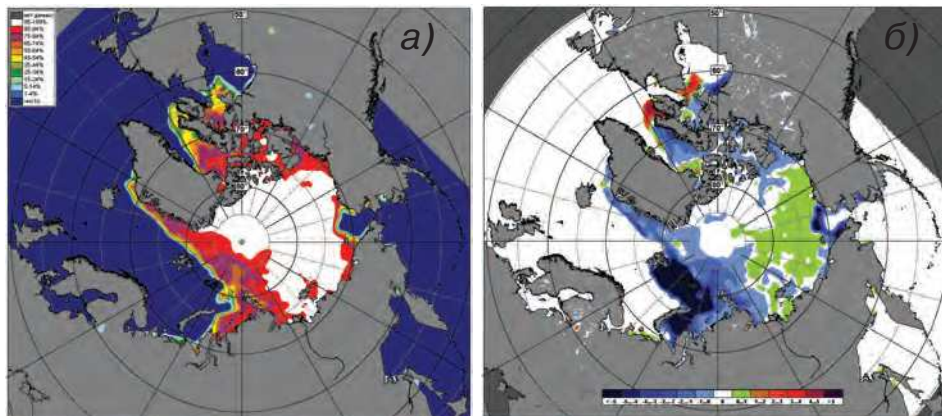


Рис. 2.4.6. Медианное распределение сплоченности льда в ноябре 2015 г. (а) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I, алгоритм NASATEAM.

Интенсивное увеличение общего количества льда в СЛО, развитый Канадский антициклонический круговорот и восточный прибрежный перенос льдов в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском привели к формированию обширной положительной аномалии сплоченности, наблюдаемой в восточном районе российского сектора Арктики и море Бофорта (на рис. 2.4.6 б зона, выделенная зеленым цветом). Отрицательная аномалия сплоченности наблюдалась в западных морях СЛО (Гренландском, Баренцевом, Карском) (на рис. 2.4.6 б зона, выделенная синим цветом).

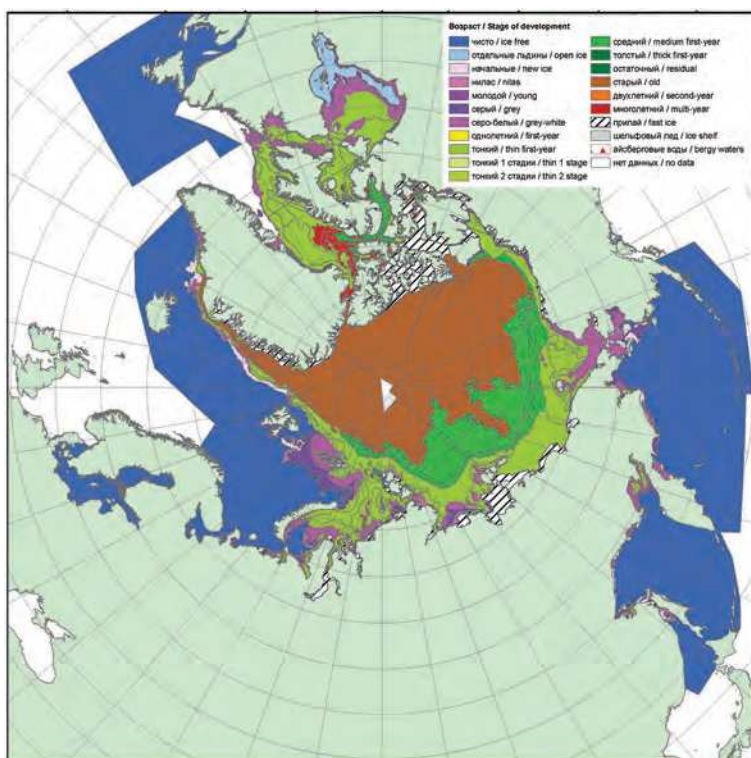


Рис. 2.4.7. Обзорная ледовая карта за 14–15 декабря 2015 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

В декабре наблюдалось дальнейшее развитие ледяного покрова и увеличение его толщины. Однако интенсивность нарастания льда уменьшилась. В середине декабря большие участки акватории Баренцева и юго-западной части Карского моря вообще оставались свободными от льда. В северной части Баренцева и юго-западной части Карского моря преобладали молодые льды. На акватории остальных арктических морей, начиная с северо-восточной части Карского моря и далее на восток, наблюдалось преобладание однолетнего тонкого льда (диапазон толщины 30–70 см). Только в северных частях морей наблюдался переход однолетних льдов в возрастную градацию однолетних средних (диапазон толщины 70–120 см). В северной части морей Лаптевых и Восточно-Сибирского сохранялись обширные отроги старых и остаточных льдов. Началось становление припая в районе Новосибирских островов и между островами Канадского Арктического архипелага (рис. 2.4.7).

В поле дрейфа наблюдались две хорошо выраженные структуры — Трансарктический перенос льда со стрежнем, смещенным к западу от своего обычного положения, который выносил льды из северной части моря Лаптевых, а также Канадский антициклонический круговорот с центром, расположенным в северной части моря Бофорта. Прослеживалась хорошо развитая ветвь прибрежного дрейфа льдов, направленного вдоль аляскинского побережья в сторону Восточно-Сибирского и Чукотского морей (рис. 2.4.8).

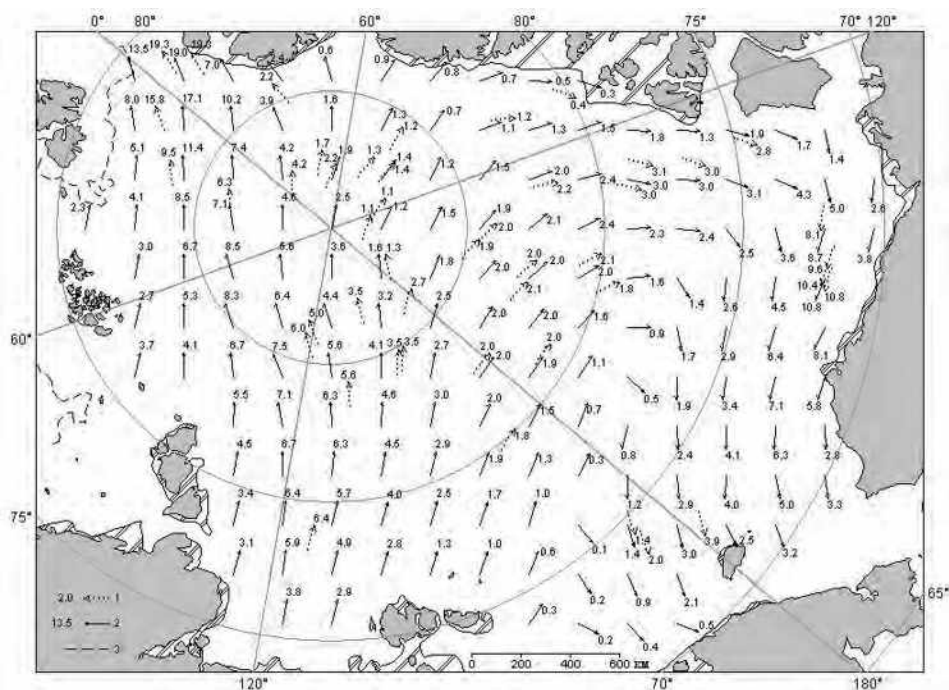


Рис. 2.4.8. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в декабре 2015 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.4.2.

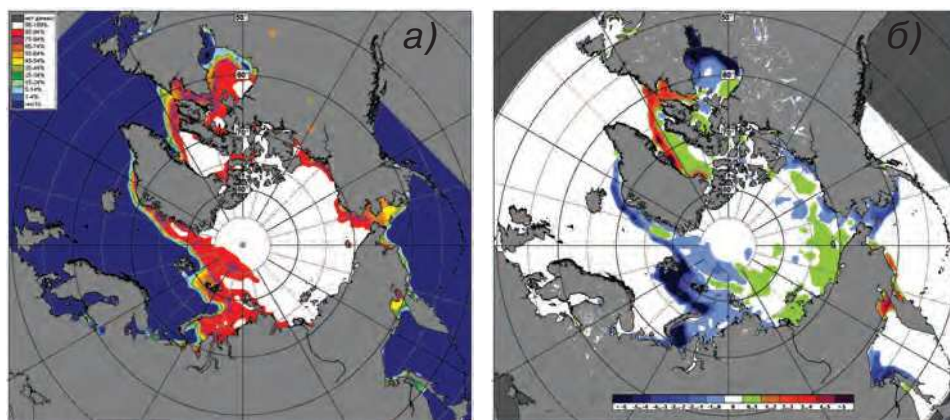


Рис. 2.4.9. Медианное распределение сплоченности льда в декабре 2015 г. (а) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979–2015 гг. (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I, алгоритм NASATEAM.

В поле сплоченности льда отрицательные аномалии (на рис. 2.4.9 б зоны, выделенные синим цветом) сохранялись в западных морях российского сектора Арктики. Одновременно отмечалось формирование зоны положительной сплоченности (на рис. 2.4.9 б зоны, выделенные зеленым цветом) в восточном районе российского сектора Арктики (морях Восточно-Сибирское и Чукотское), связанное с переносом в этот район льдов.

На рис. 2.4.10 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северной полярной области и ее отдельных секторов (за период с октября 1978 г. по декабрь 2015 г.) по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I, алгоритм NASATEAM.

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в Северной полярной области в конце декабря 2015 г. составила 12,60 млн км² при норме 13,37 млн км², т.е. оказалась на 5,8 % меньше средних многолетних значений. Для Северного Ледовитого океана значения несколько отличаются, но разница невелика. Общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в конце декабря 2015 г. составила 11,01 млн км² при норме 11,66 млн км², т.е. была на 5,6 % меньше средних многолетних значений.

Ход ледовитости в СЛО показывает, что общее количество льдов в первой половине года и в летний период было устойчиво меньше средних многолетних значений. Однако в осенний период года быстрое увеличение ледовитости привело к тому, что она приблизилась к норме и даже несколько превышала ее.

Развитие ледовых условий в разных секторах и в разные сезоны года выявило интересные особенности. Основной вклад в формирование легких ледовых условий в течение всего года вносили моря меридионального сектора 95° в.д. – 170° з.д.

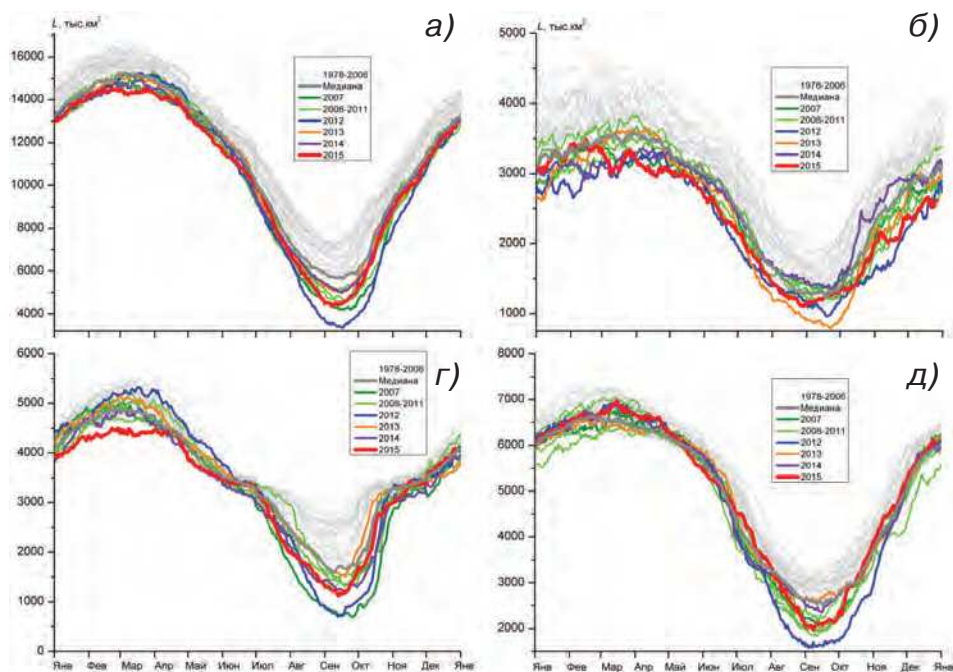


Рис. 2.4.10. Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северной полярной области и трех меридиональных секторов за период с 26 октября 1978 г. по 27 декабря 2015 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS-AMSR2, алгоритмы NASATEAM/BOOTSTRAP

- а) Северная полярная область, б) сектор 45° з.д. – 95° в.д. (Гренландское — Карское моря),
 в) сектор 95° в.д. – 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское),
 г) сектор 170 – 45°з.д. (море Бофорта и Канадская Арктика).

(Гренландское, Баренцево, Карское). Количество льдов в этом секторе в апреле — мае 2015 г. достигло очередного исторического минимума (рис. 2.4.10).

Однако в двух других секторах Арктики: сектор 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское) и сектор 170° — 45° з.д. (море Бофорта и Канадская Арктика) общее количество льдов в весенний и, особенно, в осенний сезон вплотную приближалось к средним многолетним значениям.

Развитие ледовых условий в 2015 г. сохранило тенденцию, наблюдающуюся в последние три года. После аномально легких ледовых условий в 2012 г. в последующие три года наблюдалось развитие небольших аномалий ледовитости (на 6–8 % меньше средних многолетних значений) в течение всего года, кроме летнего периода. В летний период происходило значительное сокращение ледовитости и формировались аномально легкие ледовые условия (аномалия ледовитости была на 20–30 % меньше средних многолетних значений).

Ю.В. Налимов, А.А. Степанова, Н.Л. Корельская

2.5. ЛЕДОВО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК

Обзор ледово-гидрологических условий в устьевых областях рек бассейнов морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского составлен на основе ежедневной информации, полученной на АСПД ААНИИ кодом КН-15 с постов и станций наблюдений стационарной сети Росгидромета, расположенных на устьевых участках рек, и кодом КН-02 SEA с полярных станций, расположенных на устьевых взморьях рек Оби и Енисея.

Ледово-гидрологические условия в устьевых областях рек бассейна Карского моря

Нарастание льда в зимне-весенний период

Наибольшее увеличение толщины льда на устьевых участках рек бассейна Карского моря наблюдалось в январе. Исключением стал устьевой участок реки Енисея в районе п. Дудинка, где нарастание льда было максимальным в феврале и марте. В апреле на реке Оби продолжалось нарастание льда, в то время как на реке Таз оно отсутствовало. В устьевой области реки Енисея в конце апреля была отмечена двоякая картина: в пунктах Дудинка и Караул нарастание льда продолжалось и составляло 6–12 см, а в п. Игарка, напротив, по данным наблюдений было отмечено стаивание (–7 см).

В табл. 2.5.1 приведены ежемесячные данные о нарастании льда с января по апрель на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисея.

В табл. 2.5.2 приведены аномалии толщины льда по вышеуказанным пунктам в конце апреля, т.е. в период, близкий к максимальному нарастанию льда. Толщина льда в устьевой части крупных рек была повсеместно меньше средних многолетних значений, и аномалия составила от 1 см (Обь) до 34 см (Таз).

Высота снега на льду в конце апреля в рассматриваемых пунктах составила от 30 см до 60 см.

На устьевых взморьях рек Оби и Енисея сведения о нарастании льда с января по май по данным полярных станций приведены в табл. 2.5.3.

Таблица 2.5.1

**Толщина льда (H) и ее увеличение (ΔH) от месяца к месяцу
на устьевых участках рек**

Река	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обь	Салехард	69	+18	85	+16	89	+4	101	+12
Таз	Тазовское	87	+25	101	+14	103	+2	103	0
Енисей	Игарка	78	+19	86	+8	92	+6	85	-7
	Дудинка	66	+12	85	+19	104	+19	116	+12
	Караул	84	+17	99	+15	105	+6	111	+6

Таблица 2.5.2

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина, см		
		2014 г.	Средняя	Аномалия
Обь	Салехард	101	102	-1
Таз	Тазовское	103	137	-34
Енисей	Игарка	85	97	-12
	Дудинка	116	131	-15
	Караул	111	137	-26

Таблица 2.5.3

**Толщина льда (H) и ее нарастание (ΔH) от месяца к месяцу на устьевых взморьях
рек Оби и Енисея**

Устьевое взморье	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля		31 мая	
		H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обская губа	Новый Порт	104	+29	121	+17	135	+14	144	+9	—	—
Енисейский залив	Сопочная Карга	100	+26	114	+14	126	+12	137	+11	136	-1

Наибольшее нарастание льда на устьевых взморьях рек Оби и Енисея наблюдалось в январе. В мае отмечено незначительное таяние льда в Енисейском заливе.

В табл. 2.5.4 приведены аномалии толщины льда на устьевых взморьях рек Оби и Енисея в конце апреля.

Толщина льда в конце апреля на устьевом взморье реки Оби была больше нормы на 5 см, в то время как на устьевом взморье реки Енисея — на 30 см меньше нормы.

Высота снега на льду в конце апреля составила 29 см в п. Сопочная Карга и 49 см в п. Новый Порт.

Таблица 2.5.4

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых взморьях рек Оби и Енисея

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2015 г.	Среднее	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	144	139	+5
Енисейский залив	Сопочная Карга	137	167	-30

Характеристика процесса вскрытия

Признаком начала разрушения льда весной является образование закраин. В 2015 г. на устьевых участках рек бассейна Карского моря закраины появились: на реках Обь и Енисей (река Игарка) в первой декаде мая, на реке Таз и в устьевой части реки Енисей (п. Дудинка и Караул) во второй декаде мая.

Первая подвижка льда на устьевых участках рек была отмечена в следующие сроки: на Оби — 18 мая, на реке Таз — 27 мая, на Енисее — с 13 по 27 мая. Затопы льда наблюдателями отмечались на реке Енисее только в п. Игарка ниже по течению 19 мая, выше по течению с 17 по 19 мая.

В таблице 2.5.5 приведены сроки начала весеннего ледохода и очищения от льда, а также их аномалии по отношению к средним многолетним срокам на устьевых участках рек Оби, Енисей и Таз.

Таблица 2.5.5

Сроки вскрытия и очищения на устьевых участках рек

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь	Салехард	20 V	26 V	–6	22 V	1 VI	–10
Таз	Тазовское	28 V	11 VI	–14	29 V	5 VI	–17
Енисей	Игарка	16 V	28 V	–12	31 V	8 VI	–8
	Дудинка	27 V	4 VI	–8	1 VI	11 VI	–10
	Караул	30 V	9 VI	–10	5 VI	16 VI	–11

Весенний ледоход на устьевых участках перечисленных рек начался повсеместно раньше нормы на 6 (п. Салехард) — 14 дней (п. Тазовское).

Продолжительность весеннего ледохода на устьевых участках рек составила: два дня на реке Оби, один день на реке Таз, 5–15 дней на реке Енисей.

Очищение от льда устьевых участков рек бассейна Карского моря произошло существенно раньше нормы: от восемь дней в п. Игарка на реке Енисее до 17 дней в п. Тазовское на реке Таз).

Сроки взлома припая и очищения от льда на устьевых взморьях рек Оби и Енисей, а также их аномалии в сравнении с нормой приведены в табл. 2.5.6.

На устьевых взморьях рек Оби и Енисей взлом припая и очищение от льда отмечались значительно раньше средних многолетних сроков. Период между взломом припая и окончательным очищением от льда составил четыре-пять дней.

Таблица 2.5.6

Сроки вскрытия и очищения на устьевых взморьях рек Оби и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Взлом припая	3 VI	20 VI	–17
		Очищение от льда	7 VI	1 VII	–4
Енисейский залив	Сопочная Карга	Взлом припая	8 VI	21 VI	–13
		Очищение от льда	13 VI	24 VI	–11

Характеристика процесса замерзания

Замерзание крупных рек бассейна Карского моря часто начинается с появления заберегов. В 2015 г. на устьевых участках крупных рек сроки появления заберегов были преимущественно близки к норме. Устойчивое появление плавучего льда в устьевой части рек Таз и Оби отмечено на девять и шесть дней раньше нормы соответственно. Сроки начала ледообразования в устьевой части реки Енисей были близки к норме. Сроки ледостава по отношению к норме были различны: в устьевой части реки Оби — на пять дней позже нормы, в устьевой части реки Таз — на пять дней раньше нормы. В устьевой части реки Енисей в разных пунктах аномалия имела разные знаки: на пять-шесть дней раньше нормы в пунктах Дудинка и Караул и на четыре дня позже нормы в п. Игарка.

Продолжительность периода с плавучим льдом составила: 19 дней в устьевой части реки Оби, три дня в устьевой части реки Таз и от 0 до 14 дней в устьевой части реки Енисей.

В табл. 2.5.7 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений и их аномалии на устьевых участках рек Оби, Енисей и Таз.

Таблица 2.5.7

Характеристика ледовых условий на устьевых участках крупных рек

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2015 г.	Средняя	Аномалия, сут	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь, Салехард	15 X	18 X	–3	15 X	24 X	–9	3 XI	29 X	+5
Таз, Тазовское	8 X	10 X	–2	6 X	12 X	–6	9 X	14 X	–5
Енисей, Игарка	–	17 X	–	13 X	17 X	–4	27 X	23 X	+4
Енисей, Дудинка	–	16 X	–	18 X	17 X	+1	19 X	24 X	–5
Енисей, Караул	12 X	12 X	0	18 X	19 X	–1	18 X	24 X	–6

Сроки замерзания устьевого взморья рек Оби и Енисей по данным стационарной сети приведены в табл. 2.5.8.

Таблица 2.5.8

Сроки наступления ледовых явлений на устьевых взморьях рек Оби и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Устойчивое появление плавучего льда	8 X	11 X	–3
		Полное замерзание	19 X	16 X	+3
Енисейский залив	Сопочная Карга	Устойчивое появление плавучего льда	13 X	10 X	+3
		Полное замерзание	24 X	23 X	+1

На устьевом взморье рек Оби и Енисея процесс замерзания происходил в сроки, близкие к средним многолетним. Продолжительность периода с плавучим льдом составила 11 дней.

Нарастание льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.9 приведены данные о нарастании льда за октябрь — декабрь, а в табл. 2.5.10 — аномалии толщины льда в конце декабря по отношению к средним многолетним значениям на устьевых участках рек.

Таблица 2.5.9

Толщина льда (H) и ее нарастание (ΔH) в осенне-зимний период на устьевых участках рек

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обь	Салехард	—	40	+40	45	+5
Таз	Тазовское	22	40	+18	64	+24
Енисей	Игарка	8	30	+22	37	+7
	Дудинка	—	31	+31	49	+18
	Караул	21	48	+27	58	+10

Наибольшее нарастание льда наблюдалось на устьевых участках рек Оби и Енисея в ноябре, а на устьевом участке реки Таз — в декабре.

Таблица 2.5.10

Толщина льда и ее аномалия в конце декабря на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2015 г.	Среднее	Аномалия
Обь	Салехард	45	64	–19
Таз	Тазовское	64	78	–14
Енисей	Игарка	37	59	–22
	Дудинка	49	73	–24
	Караул	58	88	–30

Толщина льда в конце декабря 2015 г. на устьевых участках рек бассейна Карского моря повсеместно в пунктах наблюдений была существенно меньше нормы.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах в конце декабря составила от 13 см (п. Игарка) до 30 см (пункты Дудинка и Караул).

Данные об увеличении толщины льда на устьевых взморьях рек Оби и Енисея за октябрь — декабрь приведены в табл. 2.5.11, а данные о ее аномалии на конец декабря — в табл. 2.5.12.

Таблица 2.5.11

Толщина льда (H) и его нарастание (ΔH) в осенне-зимний период на устьевых взморьях рек

Устьевое взморье	Пункт	30 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обская губа	Новый Порт	10	40	+30	73	+33
Енисейский залив	Сопочная Карга	18	48	+30	66	+18

Наибольшее нарастание льда в осенне-зимний период отмечено на устьевых взморьях реки Оби в декабре, а реки Енисея в ноябре.

Таблица 2.5.12

Толщина льда и ее аномалия в конце декабря на устьевых взморьях рек Оби и Енисея

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2015 г.	Средняя	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	73	79	–6
Енисейский залив	Сопочная Карга	66	99	–33

На устьевых взморьях рек Оби и Енисея толщина льда на конец декабря 2015 г. была меньше средних многолетних значений на 6–33 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах в конце декабря составляла в п. Новый Порт 32 см и в п. Сопочная Карга 15 см.

Ледово-гидрологические условия на устьевых участках крупных рек бассейна моря Лаптевых

Нарастание льда в зимне-весенний период

Наибольшее нарастание льда на устьевых участках большинства крупных рек бассейна моря Лаптевых было отмечено в январе и составило от 21 см до 34 см. В апреле на устьевых участках рек Хатанга и Яна наблюдалось таяние льда. В табл. 2.5.13 приведены данные о нарастании льда на конец месяца в зимне-весенний период.

Таблица 2.5.13

Толщина льда (H) и ее увеличение (ΔH) от месяца к месяцу в зимне-весенний период на устьевых участках рек

Река, пункт	31 января		29 февраля		31 марта		30 апреля	
	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Хатанга, Хатанга	117	+29	143	+26	161	+18	158	–3
Оленёк, Тюмети	119	+23	138	+19	153	+15	159	+6
Оленёк, Усть-Оленёк	175	+34	204	+29	232	+28	240	+8
Лена, Кюсюр	131	+25	147	+16	158	+11	161	+3
Лена, Хабарово	161	+30	189	+28	207	+18	215	+8
Яна, Юбилейная	85	+21	95	+10	100	+5	99	–1

В табл. 2.5.14 приведены аномалии толщины льда в период, близкий к периоду максимального нарастания льда (в конце апреля).

Таблица 2.5.14

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2015 г.	Среднее	Аномалия
Хатанга	Хатанга	158	151	+7
Оленёк	Тюмети	159	138	+21
	Усть-Оленёк	240	191	+49
Лена	Кюсюр	161	175	–14
	Хабарово	215	225	–10
Яна	Юбилейная	99	152	–53

Толщина льда в конце апреля на устьевых участках рек Хатанги и Оленёк была на 7–49 см больше нормы, на устьевых участках рек Лены и Яны, напротив, — меньше нормы на 10–53 см.

В конце апреля высота снега на льду в рассматриваемых пунктах наблюдалась различная: от 3 см в п. Усть-Оленёк на реке Оленёк до 43 см на устьевых участках рек Хатанги и Яны.

Характеристика процесса вскрытия

В 2015 г. на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых закраины появились в третьей декаде мая и первой декаде июня. Образование заторов при вскрытии было отмечено не на всех наблюдательных пунктах. Заторы не образовались выше и ниже по течению в устьевой части рек Хатанги, Оленёк (п. Усть-Оленёк) и Лены (п. Хабарово).

В табл. 2.5.15 приведены сроки вскрытия устьевых участков рек Оленёк, Лены и Яны и их аномалии.

Таблица 2.5.15

Сроки вскрытия и очищения устьевых участков рек							
Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2014 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга	Хатанга	8 VI	12 VI	–4	12 VI	17 VI	–5
Оленёк	Тюмети	2 VI	2 VI	0	9 VI	13 VI	–4
	Усть-Оленёк	16 VI	17 VI	–1	19 VI	21 VI	–2
Лена	Кюсюр	27 V	1 VI	–5	6 VI	11 VI	–5
	Хабарово	5 VI	7 VI	–2	10 VI	15 VI	–5
Яна	Юбилейная	2 VI	30 V	+3	7 VI	6 VI	+1

Весенний ледоход на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых начался: на реке Хатанге на четыре дня раньше нормы; на реке Оленёк — в срок, соответствующий норме; на реке Лене — на два – пять дней раньше нормы; на реке Яне — на три дня позже нормы.

Очищение от льда устьевых участков рек произошло преимущественно раньше средних многолетних сроков на два – пять дней (на реке Яне — в срок, близкий к норме).

Характеристика процесса замерзания

Замерзание устьевых участков рек Оленёк, Лены и Яны началось преимущественно с появления заберегов в более поздние по отношению к норме сроки. В связи с тем что появление заберегов в устьевой части реки Хатанги является редким ледовым явлением, сравнение срока его появления с нормой не представляется возможным из-за короткого ряда.

В табл. 2.5.16 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений в 2015 г. и их аномалии.

Как видно из приведенных в таблице данных, на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых осенью 2015 г. замерзание проходило в основном в более поздние по сравнению с нормой сроки. Появления плавучего льда наблюдалось на один – шесть дней позже средних многолетних сроков. Ледостав произошел несколько позже нормы повсеместно за исключением устьевой части реки Яны, где он наблюдался на один день раньше средних многолетних сроков.

Таблица 2.5.16

Характеристики ледовых условий в осенний период на устьевых участках рек

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавающего льда			Дата ледостава		
	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга, Хатанга	30 IX	–	–	8 X	2 X	+6	9 X	4 X	+5
Оленёк, Тюмети	5 X	27 IX	+8	7 X	1 X	+6	13 X	9 X	+4
Оленёк, Усть-Оленёк	4 X	2 X	+2	4 X	1 X	+3	10 X	5 X	+5
Лена, Кюсюр	11 X	8 X	+3	11 X	8 X	+3	23 X	22 X	+1
Быковская протока р. Лены, Хабарово	14 X	8 X	+6	12 X	11 X	+1	22 X	18 X	+4
Яна, Юбилейная	4 X	28 IX	+6	5 X	1 X	+4	6 X	7 X	–1

Продолжительность периода с плавающим льдом различна: один день в устьевых частях рек Хатанги и Яны, шесть дней в устьевой части реки Оленёк, 10—12 дней в устьевой части реки Лены.

Нарастание льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.17 приведены данные о нарастании льда за октябрь—декабрь, а в табл. 2.5.18 — толщина льда и ее аномалия на конец декабря.

Таблица 2.5.17

Толщина льда (H) и его нарастание (ΔH) от месяца к месяцу в осенне-зимний период на устьевых участках рек

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Хатанга	Хатанга	29*	58	+29	96	+38
Оленёк	Тюмети	30	43	+13	70	+27
	Усть-Оленёк	30	67	+37	84	+17
Лена	Кюсюр	17	51	+34	99	+48
	Хабарово	25	81	+56	114	+33
Яна	Юбилейная	21	48	+27	79	+31

* Значение рассчитано как среднее между значениями толщины по данным измерений 25 X и 5 XI.

Наибольшее нарастание льда в осенне-зимний период на устьевых участках рек Оленёк (п. Усть-Оленёк) и Лены (п. Хабарово) отмечено в ноябре. На устьевом участке реки Оленёк (п. Тюмети) наибольшее нарастание льда наблюдалось в октябре. На устьевых участках рек Лены (п. Кюсюр) и Яны максимум нарастания льда пришелся на декабрь. В устьевой части реки Хатанги наибольшее нарастание льда отмечалось в октябре и ноябре.

Таблица 2.5.18

Толщина льда и ее аномалия в конце декабря на устьевых участках рек				
Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2015 г.	Средняя	Аномалия
Хатанга	Хатанга	96	92	+4
Оленёк	Тюмети	70	83	–13
Оленёк	Усть-Оленёк	84	100	–16
Лена	Кюсюр	99	85	+14
Лена	Хабарово	114	123	–9
Яна	Юбилейная	79	76	+3

На устьевых участках рек Лены (п. Кюсюр), Яны и Хатанги толщина льда в конце декабря 2015 г. превышала норму на 3–14 см. На остальных устьевых участках рек Оленёк и Лены (п. Хабарово) толщина льда в конце декабря была меньше среднемесячных значений на 9–16 см.

Высота снега на льду в устьевой части вышеперечисленных рек в конце декабря составляла от 3 см на реке Лене (п. Хабарово) до 30 см на реке Оленёк (п. Тюмети).

Ледово-гидрологические условия на устьевых участках крупных рек бассейна Восточно-Сибирского моря

Нарастание льда в зимне-весенний период

В табл. 2.5.19 приведены данные о наблюдаемой толщине льда и о его нарастании в конце каждого месяца в зимне-весенний период на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря.

Таблица 2.5.19

Толщина льда (H) и его нарастание (ΔH) от месяца к месяцу в зимне-весенний период на устьевых участках рек

Река	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Индигоирка	Чокурдах	110	+34	124	+14	137	+13	142	+5
Колыма	Колымское	71	+20	77	+6	82	+5	85	+3
	Черский	79	+11	93	+14	108	+15	116	+8

Максимальное нарастание льда было отмечено на устьевых участках рек Индигоирки и Колымы (п. Колымское) в январе (20–34 см). В п. Черский на устьевом участке реки Колымы наибольшее нарастание льда наблюдалось в феврале и марте (на 14–15 см).

В апреле в устьевой части рек Индигоирки и Колымы нарастание льда продолжалось.

В табл. 2.5.20 приведены толщина льда и ее аномалии в конце апреля.

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках крупных рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2015 г.	Среднее	Аномалия
Индиگیرка Колыма	Чокурдах	142	167	–25
	Колымское	85	140	–55
	Черский	116	142	–26

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек Индиگیرки и Колымы были меньше нормы на 25–55 см.

Высота снега на льду на устьевом участке реки Колымы в конце апреля составляла от 18 до 30 см. В устьевой части реки Индиگیرки снег на льду в указанный срок уже отсутствовал.

Характеристика процесса вскрытия

Закраины как первый признак разрушения льда, а также первая его подвижка на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря были отмечены в первой декаде июня.

В табл. 2.5.21 приведены сроки вскрытия устьевых участков рек Индиگیرки и Колымы.

Таблица 2.5.21

Сроки вскрытия и очищения рек на устьевых участках

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2015 г.	Средняя	Аномалия, сут	2015 г.	Средняя	Аномалия, сут
Индиگیرка Колыма	Чокурдах	8 VI	7 VI	+1	10 VI	10 VI	0
	Колымское	VI	30 V	+5	10 VI	4 VI	+6
	Черский	8 VI	2 VI	+6	10 VI	9 VI	+1

Весенний ледоход начался позже: на один день в устьевой части реки Индиگیرки и на пять-шесть дней в устьевой части реки Колымы. Продолжительность весеннего ледохода составляла два дня в устьевой части реки Индиگیرки и от двух до шести дней в устьевой части реки Колымы.

Срок очищения от льда на устьевом участке реки Индиگیرки соответствовал норме. В устьевой части реки Колымы очищение наблюдалось позже средних многолетних сроков на один — шесть дней.

Характеристика процесса замерзания

Замерзание на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря началось с появления 8 октября заберегов в пунктах Чокурдах (река Индиگیرка) и Черский (река Колыма).

В табл. 2.5.22 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений в 2015 г. и их аномалии.

Плавучий лед на устьевых участках рек Индиگیرки и Колымы появился в сроки, близкие к средним многолетним. Ледостав был отмечен на два — шесть дней позже средних многолетних сроков.

Продолжительность периода с плавучим льдом составила два — восемь дней.

Таблица 2.5.22

Характеристика ледовых условий в осенний период на устьевых участках рек

Река, пункт	Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Индиگیرка, Чокурдах	8 X	5 X	+3	15 X	9 X	+6
Колыма, Колымское	12 X	8 X	+4	14 X	12 X	+2
Колыма, Черский	6 X	7 X	–1	14 X	10 X	+4

Нарастание льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.23 приведены данные о нарастании льда на устьевых участках рек Индиگیرки и Колымы с октября по декабрь, а в табл. 2.5.24 — аномалии толщины льда в декабре в сравнении с нормой.

Таблица 2.5.23

Толщина льда (H) и его нарастание (ΔH) от месяца к месяцу в осенне-зимний период на устьевых участках рек

Река	Пункт	31 октября		30 ноября		31 декабря	
		H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Индиگیرка	Чокурдах	–	48	–	86	+38	20
Колыма	Колымское	6	41	+35	55	+14	21
	Черский	–	37	–	50	+13	27

В устьевой части реки Колымы (п. Колымское) максимальное нарастание льда отмечено в ноябре (35 см).

В связи с отсутствием информации о толщине льда в устьевой части рек Индиگیرки и Колымы (п. Черский) в октябре, возрастание толщины льда было подсчитано только за декабрь и составило 38 и 13 см соответственно.

Таблица 2.5.24

Толщина льда и ее аномалия в конце декабря на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2015 г.	Среднее	Аномалия
Индиگیرка	Чокурдах	86	91	–5
Колыма	Колымское	55	74	–19
	Черский	50	69	–19

В конце декабря толщина льда на устьевых участках рек Индиگیرки и Колымы была на 5–19 см меньше нормы.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах в конце декабря составила 13 см.

3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ И ЕГО МОРЯХ

М.С. Махотин, Н.В. Лебедев, В.Ю. Карпий, Л.А. Тимохов

3.1. ТЕРМОХАЛИННЫЕ УСЛОВИЯ

Анализ термохалинного состояния вод Северного Ледовитого океана (СЛО) в 2015 г. выполнен на основании данных отечественных и зарубежных источников, пополнявших базу данных термохалинных характеристик (БДТХ) отдела океанологии ААНИИ. В БДТХ была загружена информация о вертикальных профилях распределения температуры и солёности воды, полученных с помощью автономных дрейфующих комплексов ИТР (Ice-Tethered Profiler), во время научно-исследовательских экспедиций на различных судах и на ледовой платформе (табл. 3.1.1, рис. 3.1.1).

Большая часть представленной информации была получена в 2015 г. на акватории глубоководной части СЛО в Арктическом бассейне с помощью 14 ИТР буев, оснащенных профилографами, обеспечивающими непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760-метрового слоя вод.

Таблица 3.1.1

**Сведения о наблюдениях за температурой и солёностью воды,
выполненных на акватории СЛО в 2015 г. и загруженных
в базу данных термохалинных характеристик отдела океанологии ААНИИ**

№ п/п	Экспедиция	Дата станции		Число станций
		первой	последней	
1	ИТР-80	14.12.2014	24.05.2015	1692
2	ИТР-81	14.12.2014	18.07.2015	431
3	ИТР-82	14.12.2014	30.11.2015	696
4	ИТР-83	10.04.2015	29.11.2015	800
5	ИТР-84	14.12.2014	06.01.2015	47
6	ИТР-85	14.12.2014	02.09.2015	525
7	ИТР-86	15.12.2014	26.08.2015	509
8	ИТР-87	15.12.2014	18.07.2015	426
9	ИТР-88	29.09.2015	14.10.2015	31
10	ИТР-89	03.10.2015	30.11.2015	116
11	ИТР-90	21.09.2015	24.09.2015	6
12	ИТР-91	05.09.2015	30.11.2015	172
13	ИТР-92	13.09.2015	30.11.2015	829
14	ИТР-93	23.09.2015	29.11.2015	193
15	Научно-исследовательский стационар «Ледовая база «Мыс Баранова»»	18.12.2014	05.07.2015	220
16	Шпицберген («Весна-2015»)	26.03.2015	02.04.2015	25
17	Сезонная научная дрейфующая станция «Северный полюс-2015»	16.04.2015	06.08.2015	108
18	«АВЛАП/NAVOS-2015» на НЭС «Академик Трёшников»	28.08.2015	26.09.2015	94

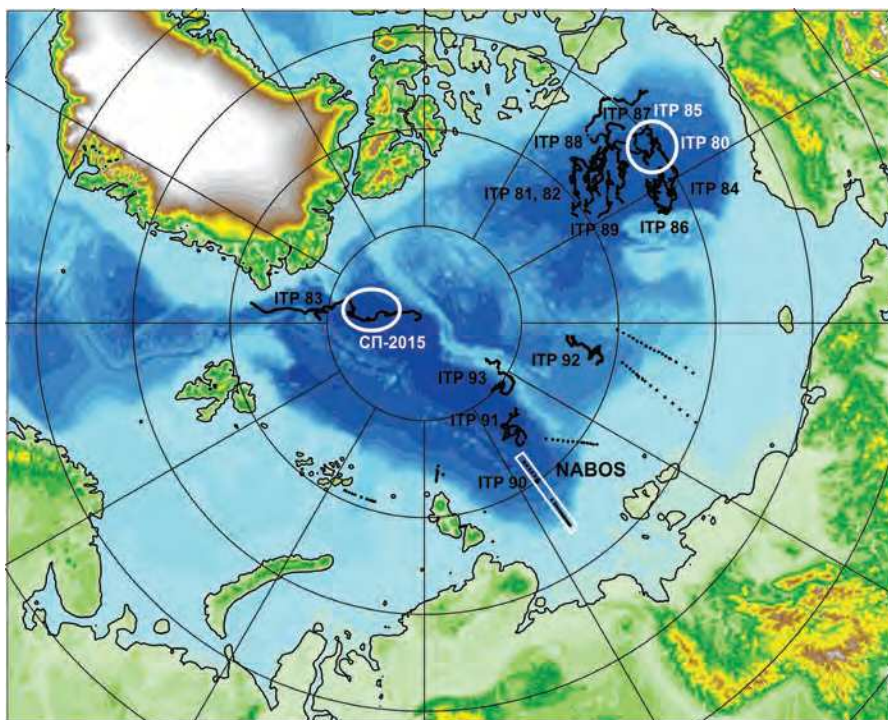


Рис. 3.1.1. Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО в 2015 г. и занесенных в БД термохалинных характеристик отдела океанологии ААНИИ.

Помимо непрерывной информации с профилографов, поступление данных о гидрологическом состоянии СЛО обеспечивали морские экспедиции, проводимые на НЭС «Академик Трёшников» (АВЛАП/NABOS-2015), и дрейфующей ледовой станции («Северный полюс-2015»).

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО в 2015 г. был осуществлен анализ вертикальных распределений температуры и солёности воды, полученных на предварительно выделенных в группы океанографических станциях — станции «Северный полюс-2015» (СП-2015) в Евразийском суббассейне и ITP-80, ITP-85 в Канадской глубоководной котловине (рис. 3.1.1). Для каждой группы станций рассчитывались основные статистические характеристики (среднее, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения) вертикальных профилей температуры и солёности воды. При дальнейшем анализе полученные статистические характеристики сравнивались с климатическими средними и их стандартными отклонениями, рассчитанными за период с 1900 по 2000 г. для этих же районов. Область поиска исторических данных (см. рис. 3.1.1, белые контуры) была на 50–100 км шире по сравнению с выделенной группой станций.

Для исследования состояния термического режима атлантической водной массы (АВ) вдоль континентального склона моря Лаптевых использовались данные, полученные экспедицией АВЛАП/NABOS-2015 на НЭС «Академик Трёшников».

Амеразийский суббассейн

В 2015 г. распределение термохалинных характеристик по глубине в Канадской глубоководной котловине по данным ИТР-80 и ИТР-85 демонстрировало аномальное относительно среднего климатического состояние, наблюдающееся на протяжении последних нескольких лет.

В первом квартале 2015 г. поверхностный слой был существенно распреснен по сравнению с климатической нормой. При этом отрицательная аномалия солёности поверхностного слоя в 2015 г. (-3‰) увеличилась в абсолютном значении на 1‰ по сравнению с аналогичным периодом 2014 г. (-2‰) (рис. 3.1.2). Температура верхнего перемешанного слоя колебалась около значения $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и незначительно превышала климатическое среднее вследствие наличия распресненного слоя и повышения температуры замерзания воды. Значение солёности поверхностного слоя достигло $27,1\text{‰}$.

Во втором квартале 2015 г. значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя несколько уменьшилось по сравнению с первым кварталом и составило $-2,5\text{‰}$ (рис. 3.1.3), что по абсолютной величине на $0,5\text{‰}$ больше по сравнению с аналогичным периодом 2014 года. Минимальное значение солёности поверхностного слоя составило $27,6\text{‰}$.

В третьем квартале 2015 г. солёность поверхностного слоя составила $26,8\text{‰}$ и значение отрицательной аномалии равнялось $-2,3\text{‰}$ (рис. 3.1.4), что в абсолютных значениях на $0,5\text{‰}$ больше по сравнению с аналогичным периодом 2014 года. Температура верхнего перемешанного слоя составила $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, превысив климатическое среднее на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, что связано в первую очередь с более ранним исчезновением ледяного покрова и проникновением солнечной радиации непосредственно в водную толщу.

Под верхним перемешанным слоем на глубине более 25 м расположен слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), который является характерной особенностью Амеразийского суббассейна СЛО. Для этого слоя характерно наличие промежуточного максимума температуры воды в слое с солёностью от 31 до 33 ‰. Максимальные значения температуры воды в слое ЛТВ в 2015 г. достигли $0,2\text{--}0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 3.1.2 – 3.1.4), что почти на $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше климатической нормы. Так же как и в предыдущие периоды, отмечалось увеличение глубины залегания нижней границы ЛТВ, которая составила 160–170 м (120–130 м согласно климатическим данным).

На глубине от 170 до 210 м в Канадской глубоководной котловине залегают так называемые зимние тихоокеанские воды, затекающие через Берингов пролив и смешивающиеся с водами Чукотского моря в холодный период. Эти воды в Арктическом бассейне характеризуются низкими значениями температуры и значением солёности, равным $33,1\text{‰}$, которое наблюдается в ядре данной прослойки. Характерной особенностью последних лет является заглубление ядра зимних тихоокеанских вод. По данным ИТР-80 и ИТР-85 в 2015 г. ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 190–210 м (см. рис. 3.1.2 – 3.1.4), в то время как в соответствии с климатической нормой оно должно наблюдаться на горизонтах 150–160 м.

На глубине более 210 м в Канадской глубоководной котловине наблюдается постепенное повышение температуры воды, обусловленное теплоотдачей атлан-

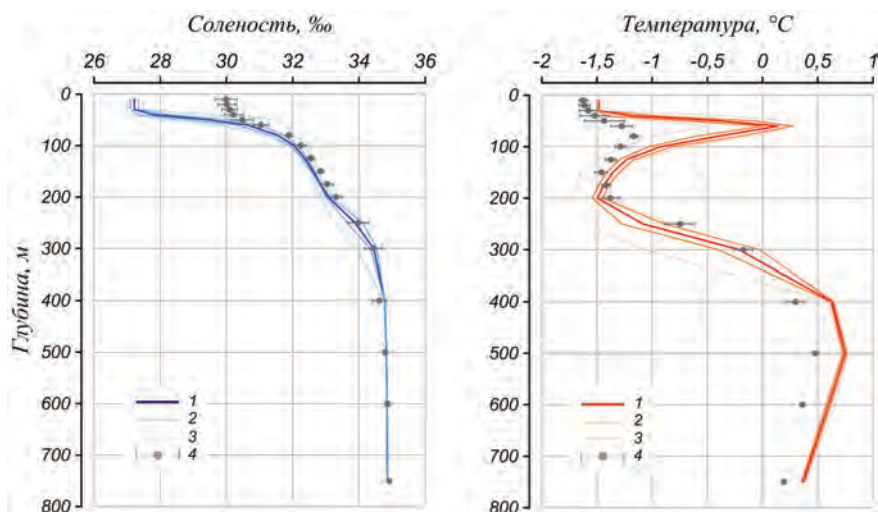


Рис. 3.1.2. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в январе — марте 2015 г. по результатам измерений профилографа ИТР-80.
1 — профиль средних значений; 2 — область стандартного отклонения; 3 — минимальные и максимальные значения наблюдаемых характеристик; 4 — средние климатические значения и их стандартные отклонения, рассчитанные по историческим данным базы термохалинных характеристик СЛО отдела океанологии ААНИИ за январь — март за период с 1900 по 2000 г.

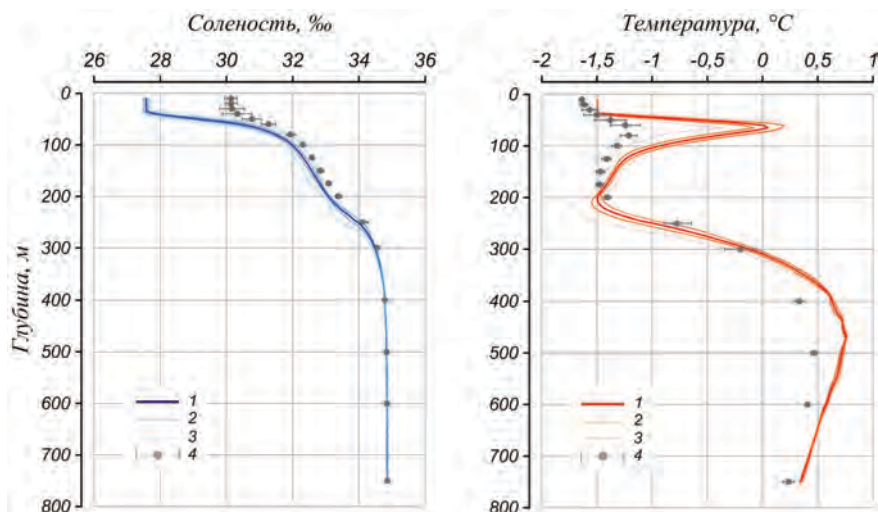


Рис. 3.1.3. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в апреле — июне 2015 г. по результатам измерений профилографа ИТР-80.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

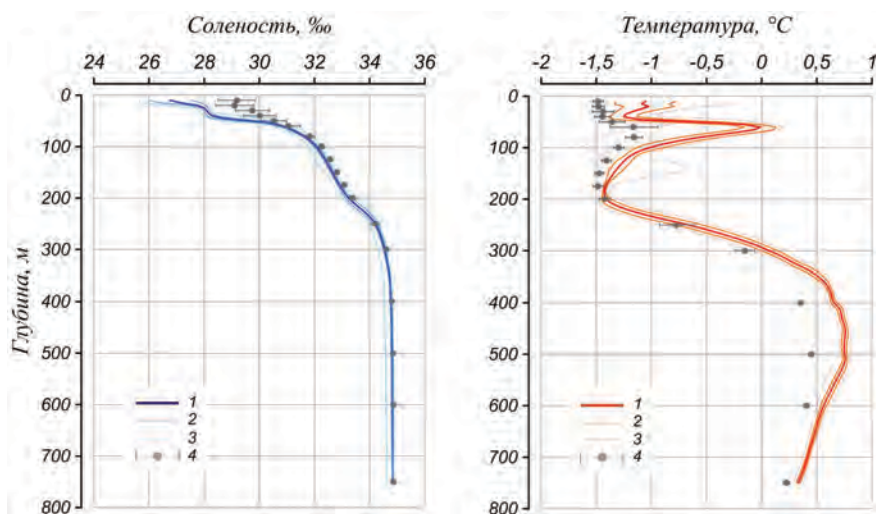


Рис. 3.1.4. Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в июле — сентябре 2015 г. по результатам измерений профилографа ИТР-85.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

тической водной массы (AB). Верхняя граница слоя этой водной массы (0°C) по данным за 2015 г. располагалась на глубине 300–320 м. Максимальное значение температуры воды в ядре AB составило $0,8^{\circ}\text{C}$, что на $0,3\text{--}0,4^{\circ}\text{C}$ выше климатической нормы (см. рис. 3.1.2 – 3.1.4). Полученные оценки аномалий температуры в 2015 г. практически полностью соответствуют значениям предшествующего 2014 г., что свидетельствует об отсутствии как положительного, так и отрицательного тренда температуры AB в СЛО.

Евразийский суббассейн

Поверхностный слой в котловине Амундсена Евразийского суббассейна во втором квартале 2015 г. (в первом квартале океанографические наблюдения в данном районе не проводились) по данным дрейфующей станции «Северный полюс-2015» характеризовался высокими положительными значениями аномалии солености, прослеживающимися до глубины 250–300 м (рис. 3.1.5). Значение солености поверхностного слоя составило $33,2\text{‰}$, превысив климатическое среднее на $1,9\text{‰}$. Подобное высокое положительное значение аномалии солености поверхностного слоя в Евразийском суббассейне было зафиксировано впервые. Температура воды поверхностного слоя ($-1,81^{\circ}\text{C}$) была незначительно ниже нормы, что связано, судя по всему, с повышенными значениями солености и как следствие пониженной температурой замерзания.

По данным, полученным с дрейфующей станции «Северный полюс-2015», в третьем квартале 2015 г. в котловине Амундсена поверхностный слой характеризовался гораздо меньшими положительными значениями аномалии солености по сравнению с предыдущим кварталом, что может быть связано с небольшим числом океанографических станций, участвующих в расчетах климатических средних,

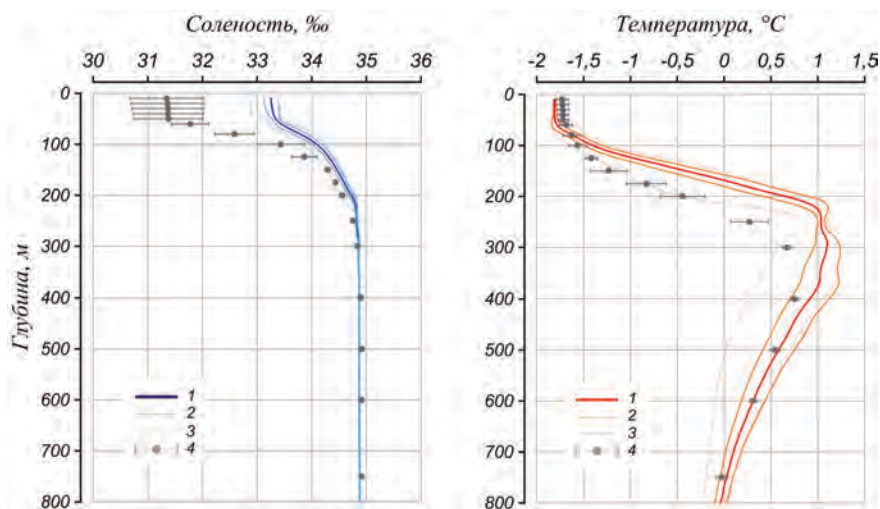


Рис. 3.1.5. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в котловине Амундсена в апреле — июне 2015 г. по результатам измерений дрейфующей станции «Северный полюс-2015». Усл. обозначения см. рис. 3.1.2.

выполненных в основном в период (с 1990 по 2010 г.), близкий к анализируемому (рис. 3.1.6). Значение солёности поверхностного слоя составило 32,5 ‰, превысив климатическое среднее на 0,1 ‰. Температура воды поверхностного слоя ($-1,6^{\circ}\text{C}$) была незначительно выше нормы ($-1,7^{\circ}\text{C}$).

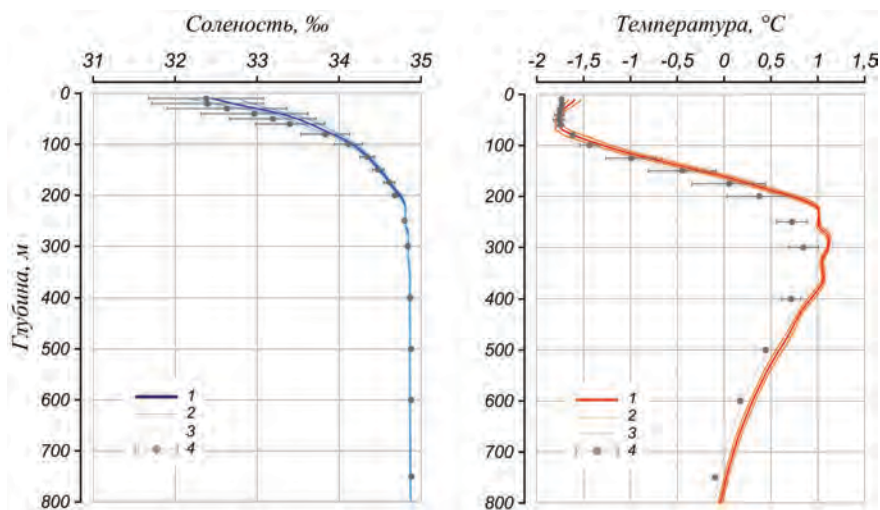


Рис. 3.1.6. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в котловине Амундсена в июле — августе 2015 г. по результатам измерений дрейфующей станции «Северный полюс-2015». Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

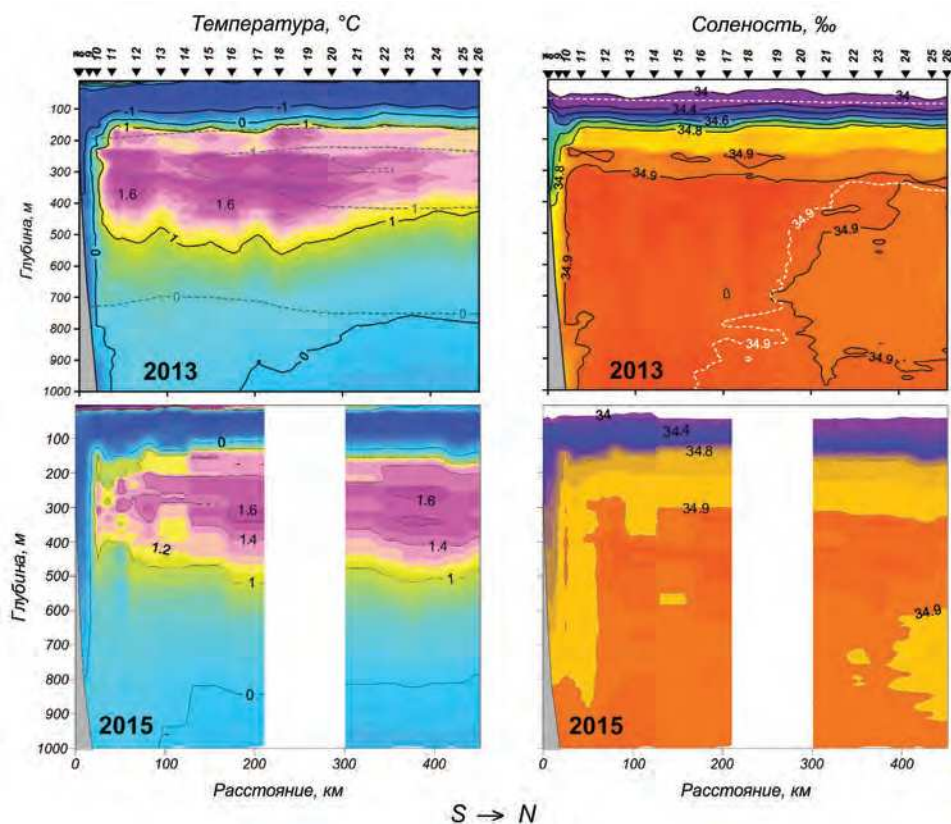


Рис. 3.1.7. Распределение значений температуры и солёности воды на разрезе вдоль меридиана 126° в.д., выполненном экспедицией АВЛАН/NAVOS в сентябре 2013 и 2015 гг. Пунктирной линией на верхних рисунках показаны средние климатические значения температуры и солёности воды. Положение разреза указано на рис. 3.1.1 белым прямоугольником.

Максимальное значение температуры воды в ядре атлантических вод (АВ) в котловине Амундсена в 2015 г. достигло 1,1 °С, превысив климатическую норму на 0,3–0,4 °С (см. рис. 3.1.5, 3.1.6). Помимо аномалии термического состояния, продолжает прослеживаться аномалия в локализации ядра АВ и его границ. Верхняя граница АВ, определяемая по изотерме 0 °С, была расположена на глубине 170 м, что примерно на 50 м выше ее климатического положения.

В августе — сентябре 2015 г. с борта НЭС «Академик Трёшников» экспедицией АВЛАН/NAVOS-2015 была выполнена серия океанографических станций, в том числе на разрезе, расположенном поперек континентального склона моря Лаптевых вдоль меридиана 126° в.д., где исследования проводятся с 2002 г. На разрезе, как и в предыдущие годы, наблюдалось несколько ядер АВ в слое на глубине от 280 до 320 м, где температура превышала 1,6 °С. Максимальная температура в слое АВ на разрезе составила 1,7 °С, что на 0,7 °С выше климатической нормы (рис. 3.1.7). Такие же значения аномалии температуры АВ наблюдались на данном разрезе в 2013 г. по данным экспедиции АВЛАН/NAVOS-2013 и в 2014 г. по данным экспедиции ВГКШ-2014 на НЭС «Академик Федоров». Полученные оценки свидетельству-

ют об отсутствии потепления/похолодания АВ не только в глубоководных районах Арктического бассейна, но и непосредственно в основной струе АВ, распространяющейся вдоль континентального склона Сибирских морей.

Выводы

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2015 г., гидрологический режим СЛО продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему. Распределение солёности поверхностного слоя характеризуется наличием дипольной структуры, выраженной отрицательной аномалией солёности (-3 ‰ в зимний период, $-2,3\text{ ‰}$ в летний период) в Амеразийском суббассейне и положительной аномалией солёности (до $+1,9\text{ ‰}$ в апреле—июне) в Евразийском. При этом абсолютные значения аномалии солёности по сравнению с 2014 г. возросли в Амеразийском бассейне на $0,5\text{ ‰}$, а в Евразийском — на $0,9\text{ ‰}$ (апрель—июнь).

Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ). Как в Евразийском, так и в Амеразийском суббассейнах положительная аномалия АВ в 2015 г. составила $0,3\text{--}0,4\text{ °C}$, что соответствует оценкам, полученным в 2014 г. Помимо аномалии термического состояния, продолжает прослеживаться аномалия в локализации ядра АВ и его границ. Верхняя граница АВ, определяемая по изотерме 0 °C , залегала на 50 м выше своего среднего климатического положения.

По данным экспедиции АВЛАП/NAPOS-2015 аномалия температуры основной струи АВ, распространяющейся вдоль континентального склона сибирского шельфа, в море Лаптевых составила $0,7\text{ °C}$, что соответствует оценкам 2013 и 2014 гг.

Так же как и АВ, летние тихоокеанские воды (ЛТВ) в Амеразийском суббассейне характеризуются повышенными значениями температуры, превышающими климатическую норму на $1,4\text{--}1,5\text{ °C}$. Нижняя граница ЛТВ залегала на более глубоких горизонтах ($160\text{--}170\text{ м}$) по сравнению с климатическим положением ($120\text{--}130\text{ м}$).

Полученные оценки аномалий температуры АВ в СЛО в 2015 г. практически полностью соответствуют значениям предшествующего 2014 г. Тенденций к понижению или повышению температуры АВ не наблюдается.

А.Е. Новихин, А.Л. Никулина, Н.А. Маркова

3.2. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

В 2015 г. гидрохимические исследования проводились на дрейфующей станции «Северный полюс-2015» и в экспедиции АВЛАП/NAPOS-2015.

Дрейфующая станция «Северный полюс-2015»

Гидрохимические исследования на дрейфующей станции «Северный полюс-2015» были выполнены в период с 17 апреля по 31 июля 2015 г. и являлись продолжением аналогичных исследований, проводившихся в 2013 и 2014 гг. на ледовой базе «Барнео».

Целью исследований ставилось изучение процессов формирования и изменчивости гидрохимической структуры верхних слоев Арктического бассейна Северного Ледовитого океана, мониторинг структуры и динамики водных масс, исследование процессов распространения и трансформации атлантических и тихоокеанских вод в Арктическом бассейне СЛО.

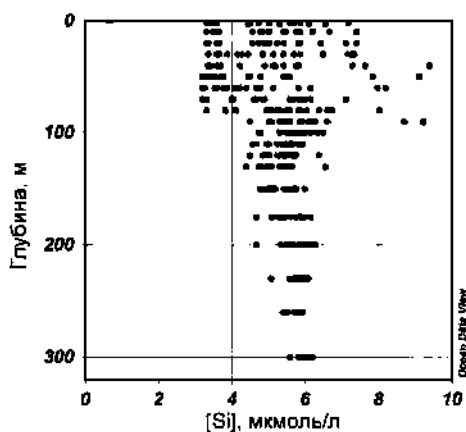


Рис. 3.2.3. Изменчивость содержания (мкмоль/л) кремния на гидрохимических станциях по данным дрейфующей станции СП-2015.

ностного слоя и поступления кислорода за счет фотосинтеза, в верхней части профилей насыщение воды кислородом достигает 107 %.

По вертикали содержание кислорода уменьшается от поверхности до глубины 200–230 м. На отдельных станциях наблюдались значительные вертикальные градиенты — до 0,15 мл/(л·м). В пределах этого слоя существовали локальные экстремумы растворенного кислорода, что может быть связано с адвекцией тихоокеанских водных масс, обедненных кислородом.

Содержание растворенного кремния изменялось от 0,6 мкг/л на поверхности океана и в развоях до 9,1–9,4 мкг/л в слое верхнего галоклина на глубине от 40 до 90 м. Несмотря на низкие значения в развоях, в подледном слое (глубина 23 м) содержание кремния составляло не менее 3,3 мкг/л. Наименьшая изменчивость содержания растворенного кремния отмечена в слое атлантических вод на горизонте 260 м (в пределах 0,5 мкг/л), наибольшая — в водах верхнего галоклина (до 6 мкг/л на горизонтах 40–50 м). Общая характеристика изменчивости содержания растворенного кремния представлена на рис. 3.2.3.

Наличие максимумов растворенного кремния в слое верхнего галоклина или на поверхности может свидетельствовать о влиянии водных масс тихоокеанского происхождения, характеризующихся высокими концентрациями кремния. Такие максимумы были отмечены на большинстве выполненных станций, однако их выраженность сильно различалась. Глубина залегания максимума содержания кремния изменялась от поверхности до 130 м. Обнаружение локального максимума содержания кремния на станции 2 на глубине 120–130 м свидетельствует о влиянии вод тихоокеанского происхождения, которые для данного района не являются характерными. В слое атлантических вод концентрация растворенного кремния составляла от 5,6 до 6,2 мкг/л.

Содержание минерального фосфора на исследуемой акватории изменялось от почти нулевых значений в пробах, отобранных на поверхности в развоях, до 0,83 мкг/л на горизонтах 230–300 м, в слое атлантической водной массы. Наибольшая изменчивость, как и в случае кремния, отмечена на глубине 40–90 м, в слое верхнего галоклина. Общая характеристика изменчивости содержания минерального фосфора представлена на рис. 3.2.4.

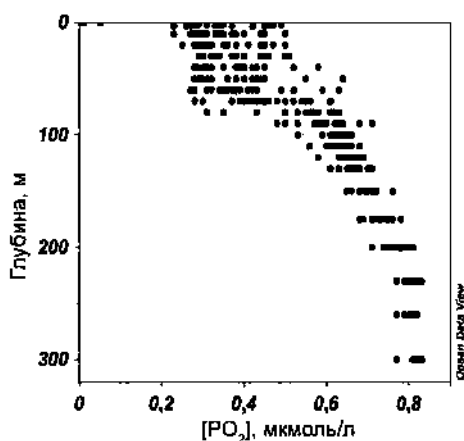


Рис. 3.2.4. Изменчивость содержания (мкмоль/л) минерального фосфора на гидрохимических станциях по данным дрейфующей станции СП-2015.

Характер вертикального распределения концентрации минерального фосфора характеризуется наличием пониженных значений в поверхностном слое (от 0,26 до 0,50 мкг/л). Это свидетельствует о том, что в водной толще в данном районе минеральный фосфор присутствует в достаточном количестве и не может являться лимитирующим элементом для развития фитопланктона. Дальнейшее изменение содержания минерального фосфора с глубиной в целом обратно изменению содержания растворенного кислорода: максимальные градиенты наблюдаются на тех же горизонтах, далее незначительное увеличение на глубине 150–200 м и квазиоднородное распределение в ядре атлантических вод.

Содержание нитратного азота изменялось от нулевых значений в подледном слое до 12 мкг/л в атлантических водах (300 м). Наибольшая изменчивость, как и для других характеристик, отмечена на глубине 40–80 м. Общая характеристика изменчивости концентрации нитратного азота представлена на рис. 3.2.5.

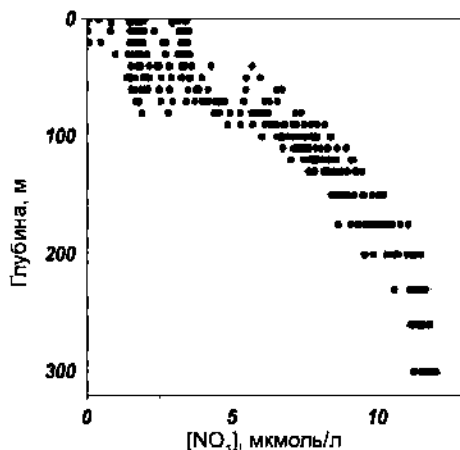


Рис. 3.2.5. Изменчивость содержания (мкмоль/л) нитратного азота на гидрохимических станциях по данным дрейфующей станции СП-2015.

Особенности вертикального профиля содержания нитратного азота в целом те же, что и в случае минерального фосфора. В поверхностном слое содержание нитратов на большинстве станций, выполненных до середины июля, составляет не менее 1,5 мкг/л, однако 16 июля (станция 16) в верхнем 10-метровом слое отмечается уменьшение их содержания до нулевых значений, вызванное, по-видимому, интенсивным потреблением нитратов фитопланктоном. Со временем толщина слоя с нулевыми концентрациями нитратов увеличивается и к 21 июля (станция 17) составляет уже 20 м. Отмеченное увеличение содержания нитратов на поверхности на станции 18 (31 июля) произошло синхронно с аналогичным увеличением содержания кремния и минерального фосфора и связано, скорее всего, с адвекцией обогащенных биогенными элементами вод из соседних акваторий. Это свидетельствует о том, что даже в разгар вегетационного сезона в исследуемом районе могут появляться области с ненулевым содержанием нитратного азота на поверхности.

Содержание нитритного азота в исследуемых пробах было крайне незначительным и не превышало обычно 0,15 мкг/л.

Исходя из указанных особенностей распределения гидрохимических параметров в верхнем 300-метровом слое можно выделить четыре основные водные массы: поверхностный слой, верхняя и нижняя промежуточные и атлантическая водная масса (рис. 3.2.6).

Поверхностный слой характеризуется высоким содержанием растворенного кислорода и обеднен минеральным фосфором и нитратным азотом. Концентрация растворенного кремния в этом слое изменяется в достаточно широких пределах. На начальной стадии дрейфа, между станциями 1 и 9, мощность поверхностного слоя максимальна (до 80 м), а содержание кремния, как и остальных биогенных элементов, относительно невелико. На станции 10 происходит резкое увеличение концентрации биогенных элементов, значения которой достигают максимума для поверхностного слоя: кремний — до 7,4 мкг/л, фосфор — до 0,5 мкг/л, нитратный азот — до 3,5 мкг/л; содержание растворенного

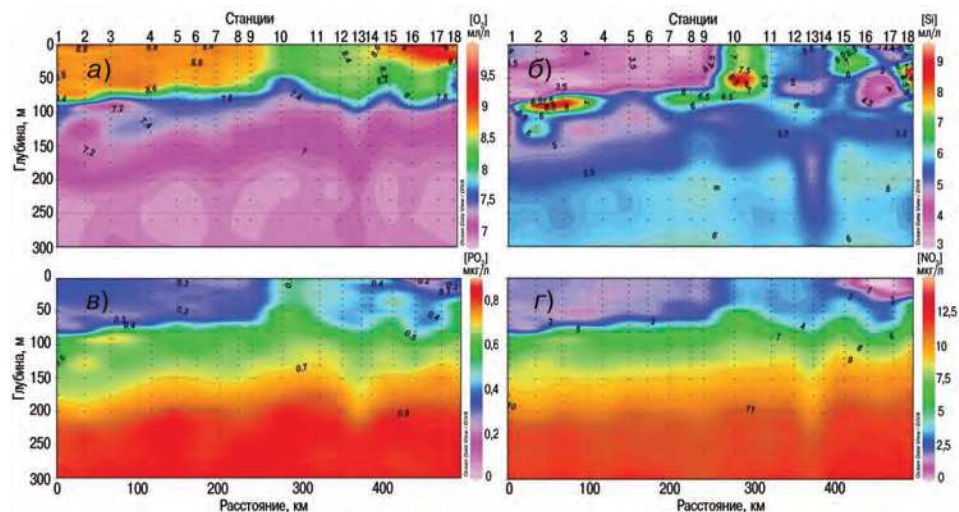


Рис. 3.2.6. Вертикальное распределение растворенного кислорода (а), растворенного кремния (б), минерального фосфора (в) и нитратного азота (г) на разрезе по всем станциям за период дрейфа станции СП-2015.

кислорода при этом уменьшается от 8,8 до 8,3 мл/л. Наличие таких изменений, вполне вероятно, может быть вызвано выходом к поверхности вод тихоокеанского происхождения, обогащенных биогенными элементами и обедненных кислородом. Относительно высокие концентрации биогенных элементов в поверхностном слое прослеживаются вплоть до станции 15. В дальнейшем на вертикальное распределение параметров начинают влиять сезонные процессы — распреснение и фотосинтез. Так, на станциях 16 и 17, выполненных во второй половине июля, в верхнем 10–20-метровом слое наблюдается увеличение содержания кислорода (до абсолютного максимума) и уменьшение концентрации минерального фосфора (до 0,27 мкг/л) и нитратного азота (до аналитического нуля).

Наиболее значительные изменения отмечены в верхнем промежуточном слое, где появляются локальные экстремумы гидрохимических характеристик, и в первую очередь прослойки вод с высоким содержанием растворенного кремния. Появление таких максимумов отмечается почти на всех станциях, однако глубина их залегания, общие концентрации, а также вертикальные градиенты могут различаться. Наличие характерного максимума в распределении содержания биогенных элементов, и прежде всего кремния, а также сопряженного с ним локального минимума концентрации растворенного кислорода может являться свидетельством наличия здесь следов водных масс тихоокеанского происхождения. Нижняя граница верхнего промежуточного слоя в целом не отмечалась на глубине более 100 м.

Нижний промежуточный слой (от 90 до 260 м) отличается незначительным увеличением содержания растворенного кислорода, постепенным уменьшением содержания фосфатов и нитратов и минимумом содержания кремния. Нижней границей слоя можно считать ядро атлантических вод. В пределах этого слоя, а также нижележащей атлантической водной массы отмечалось относительно резкое понижение содержания биогенных элементов и повышение концентрации растворенного кислорода. На глубине 200–300 м вертикальное распределение всех гидрохимических характеристик становится квазиоднородным.

Можно отметить общую тенденцию уменьшения солености, а также среднего содержания минеральных форм биогенных элементов во льду с течением времени. Уже к началу июля содержание минерального фосфора и азота в кернах приблизилось к нижнему порогу обнаружения.

Наиболее резкие изменения начали происходить во второй половине июня, что является следствием таяния льда, вытекания соленой воды через каналы стока, а возможно, и потреблением биогенных элементов ледовым фитопланктоном в толще льда.

Соленость до середины июня оставалась почти одинаковой по всей толще льда. В керне от 24 июня отмечается тенденция к распреснению верхних и нижних слоев льда. В конце июля толща льда становится практически пресной.

Вертикальное распределение кремния в толще льда на начальном этапе характеризовалось повышенным его содержанием в верхней части с максимумом в слое 70–90 см (до 1,7 мкг/л) и понижением содержания к нижней части до 0,5–0,7 мкг/л. Такое распределение отмечалось до середины июня, а далее напоминало распределение солености с минимумами в нижней и верхней частях. Дальнейший подъем срединного максимума до горизонта 40 см связан, скорее всего, с таянием льда сверху и его подъемом со временем. Изменение содержания минерального фосфора не испытывало каких-либо значимых отклонений по вертикали. Содержание нитратного азота на большинстве станций также изменялось незначительно.

В ходе экспедиции АВЛАП/NAPOS-2015 был проведен отбор проб для определения целого ряда гидрохимических характеристик. Однако на данный момент только небольшое количество данных доступно для проведения предварительных анализов, поскольку большинство химических и биологических проб требуют дальнейшей обработки в стационарных лабораториях зарубежных институтов. Предварительный анализ возможно сделать на основе сенсорных данных о содержании растворенного кислорода, температуре и солености.

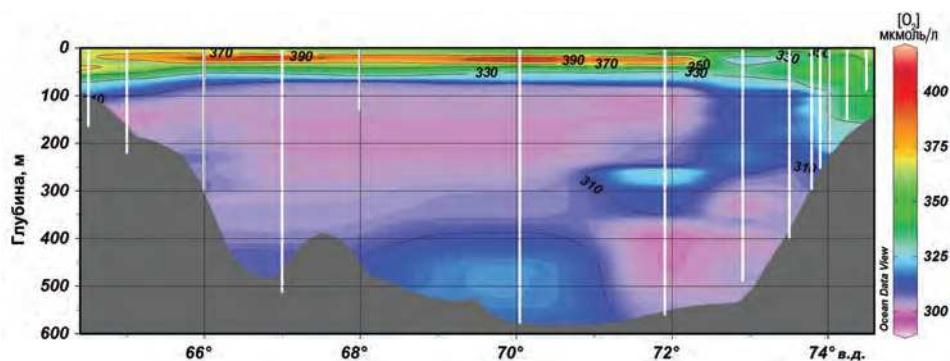


Рис. 3.2.7. Распределение растворенного кислорода по данным сенсора на разрезе через северную часть желоба Святой Анны, полученным в экспедиции АВЛАП/NAPOS-2015.

Содержание растворенного кислорода на разрезе через северную часть желоба Святой Анны (рис. 3.2.7) находится в пределах от 300 до 411 мкмоль/л. Распределение в целом соответствует среднему многолетнему. Максимальное содержание кислорода отмечается в промежуточном слое на глубине от 15 до 30 м и составляет 370–410 мкмоль/л. Данный максимум соответствует слою холодного галоклина с температурой воды $-1,0 \dots -1,7$ °C. В ядре атлантических вод содержание растворенного кислорода изменяется незначительно — от 300 до 310 мкмоль/л; те же значения наблюдаются в выходящем потоке атлантических вод у восточного склона желоба. В придонном слое отмечается глубинная баренцевоморская вода с содержанием кислорода 310–320 мкмоль/л и температурой 0,0–0,6 °C. В промежуточном слое у восточного склона желоба отмечается водная масса с относительно невысоким содержанием кислорода (310–330 мкмоль/л), образовавшаяся в Карском море в зимний период. Интересной особенностью распределения кислорода является локальный промежуточный минимум содержания кислорода (315–330 мкмоль/л) в восточной части разреза на глубине 20–40 м, связанный с существенным повышением температуры (до 2,0–4,5 °C).

Выводы

Наибольшая изменчивость гидрохимических характеристик отмечена в подповерхностном слое (на глубине от 40 до 100 м). Наличие прослоек вод с высоким содержанием кремния и локальных максимумов содержания азота и фосфора, может свидетельствовать о наличии здесь водных масс тихоокеанского происхождения. В поверхностном слое обнаружены области повышенного содержания биогенных элементов, что может быть связано с выходом к поверхности вод тихоокеанского происхождения.

Сезонные процессы на поверхности, связанные с распреснением и фотосинтезом, отмечались во второй половине июля, а их явное влияние наблюдалось до глубины 20 м. При этом содержание нитратного азота снижалось до нулевых значений, что могло приводить к лимитированию процессов первичного продуцирования.

В морском льду отмечается общая тенденция к распреснению и уменьшению содержания биогенных элементов. Основная перестройка гидрохимической структуры льда начала происходить со второй половины июня.

И.М. Ашик, И.В. Рыжов

3.3. УРОВЕНЬ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

В 2015 г. наблюдения за уровнем моря велись в Карском море на двенадцати станциях, семь из которых расположены в юго-западной части моря (им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос), Амдерма, Усть-Кара, им. М.В. Попова (о. Белый), Новый Порт, Диксон и Сопочная Карга) и пять — в северо-восточной части моря (о-ва Известий ЦИК, о. Голомянный, о. Визе, мыс Стерлегова, ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина)), в море Лаптевых на четырех станциях (Анабар, мыс Кигилях, пр. Санникова, о. Котельный) и в Восточно-Сибирском море на станциях Певек и Амбарчик. Чукотское море наблюдениями за уровнем моря освещено не было.

При этом необходимо отметить, что на станциях Новый Порт и Диксон наблюдения за уровнем моря велись только во второй половине года (с июля по декабрь), а на станции им. М.В. Попова (о. Белый) — только в августе и сентябре. На станции о. Визе наблюдения за уровнем моря были прекращены в середине июля, а на станции о. Голомянный — в начале августа. На станции ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина) регулярные наблюдения за уровнем моря велись только в первую половину года. Существенны пропуски в данных наблюдений на станциях им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос) и Усть-Кара. Наблюдения за уровнем моря на станции Певек осуществлялись крайне нерегулярно и только в период с конца января до середины октября, на станции Амбарчик нерегулярные наблюдения проводились в июле — августе. На станции Тикси наблюдения за уровнем моря, прерванные в конце 2010 г., до сих пор не возобновлены. Таким образом, оценить сезонную и многолетнюю изменчивость уровня моря на перечисленных выше станциях не представляется возможным.

Относительно полноценные наблюдения в течение года были выполнены только на пяти станциях в Карском море (Амдерма, Сопочная Карга, о-ва Известий ЦИК и м. Стерлегова) и четырех станциях в море Лаптевых (Анабар, мыс Кигилях, пр. Санникова, о. Котельный).

На протяжении 2015 г. колебания уровня моря на большинстве станций Карского моря — как в его юго-западной, так и в северо-восточной части — происходили на повышенном фоне: аномалии среднегодового уровня моря составили от +16 см (Амдерма) до +11 см (Стерлегова). При этом лишь на станции Сопочная Карга фон колебаний уровня моря был близок к среднему многолетнему. В море Лаптевых среднегодовой уровень был немного выше нормы, причем в юго-западной части моря Лаптевых, на станции Анабар, среднегодовой уровень на 10 см превышал среднее многолетнее значение, а в восточной части моря, в районе Новосибирских островов, аномалия среднегодового уровня составила от +3 см на станциях пр. Санникова и м. Кигилях до +5 см на станции о. Котельный. Оценить фон колебаний уровня в

Восточно-Сибирском и Чукотском морях не представляется возможным в связи с отсутствием регулярных данных за годовой период наблюдений.

Сезонные колебания уровня арктических морей

Как правило, сезонные колебания уровня арктических морей отличаются хорошо выраженным годовым ходом, характеризующимся минимумом весной (март – май) и максимумом осенью (сентябрь – ноябрь). В 2015 г. сезонные колебания уровня в целом были близки к типичным, однако в некоторых случаях отмечались существенные отклонения.

В январе и феврале на всех станциях Карского моря (рис. 3.3.1) наблюдался повышенный фон колебаний уровня с аномалиями от +3 см на станции м. Челюскина до +16 см на станции о-ва Известий ЦИК. Исключение составила только станция Сопочная Карга, где фон колебаний уровня моря был отрицательным и от января к февралю отмечалось понижение среднего уровня моря от –8 до –16 см. В марте на всех станциях Карского моря наблюдалось повышение среднего уровня до существенно положительных значений (от +7 до +25 см).

В апреле произошло понижение среднего уровня моря к среднегодовым значениям (от +13 до –7 см). Исключение составили станции Сопочная Карга и м. Челюскина где средний уровень моря понизился и достиг –25 и –21 см соответственно. В мае на большинстве станций фон колебаний уровня моря был близок к наблюдавшемуся в апреле. Только на станции Сопочная Карга средний уровень

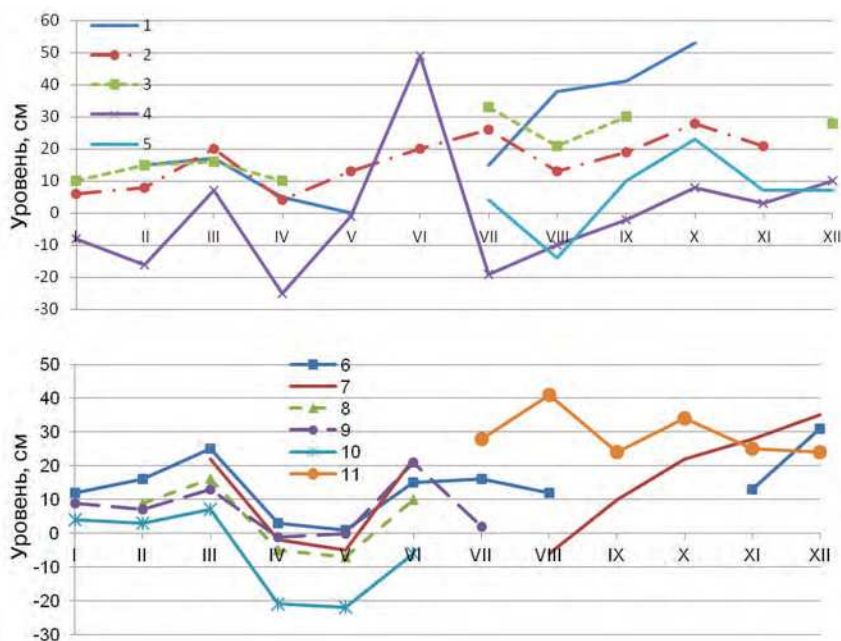


Рис. 3.3.1. Изменения среднемесячного значения уровня на станциях Карского моря в 2015 г.

1 — им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос), 2 — Амдерма, 3 — Усть-Кара, 4 — Сопочная Карга, 5 — Диксон, 6 — о-ва Известий ЦИК, 7 — мыс Стерлегова, 8 — о. Визе, 9 — о. Голомянный, 10 — ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина), 11 — Новый Порт.

моря повысился и его среднемесячное значение вплотную приблизилось к среднегодовому значению (–1 см).

В июне на всех станциях Карского моря наблюдался подъем среднего уровня моря, причем наиболее существенным он был на станции Сопочная Карга (+49 см), что, очевидно, связано с весенним половодьем. В июле и августе тенденции сезонных изменений уровня моря на разных станциях различались, однако в большинстве случаев аномалии среднемесячного значения уровня моря были положительными. В дальнейшем, в период с сентября по декабрь, сезонные колебания уровня на всех станциях Карского моря приобрели достаточно типичный для этого времени года характер: они происходили на повышенном фоне (от +10 до +53 см) с пиками, наблюдавшимися в октябре, когда среднемесячное значение уровня моря составляло +53 см на станции им. Е.К. Федорова (м. Болванский Нос), +28 см на станции Амдерма, +23 см на станции Диксон, и декабре на станциях м. Стерлегова (+35 см) и о-ва Известия ЦИК (+31 см).

В юго-западной части моря Лаптевых (п/ст. Анабар) (рис. 3.3.2) в январе колебания уровня происходили на повышенном фоне (+29 см). В феврале — мае отмечалось плавное понижение среднемесячных значений, причем положительные аномалии сохранялись в феврале (+17 см) и марте (+9 см), а позднее значения опустились ниже среднегодового на 10 см в апреле и на 6 см мае. После этого произошло повышение среднемесячного значения уровня моря, и в дальнейшем, на протяжении всего периода с июня по декабрь, колебания уровня моря происходили на слабо повышенном фоне (от +7 до +17 см) с пиком в сентябре.

В восточной части моря Лаптевых, в районе Новосибирских островов (рис. 3.3.2), в январе — феврале на станциях м. Кигилях и пр. Санникова среднемесячные значения уровня моря были ниже средних многолетних (от –4 до –17 см), в то время как на станции о. Котельный наблюдался повышенный фон уровня (от +4 до +10 см). В марте наблюдалось небольшое повышение уровня моря (несколько выше среднегодовых значений) — до +8 см на станции о. Котельный. В дальнейшем, в апреле, среднемесячные значения понизились на всех станциях этого района — от –5 см на станции пр. Санникова до –12 см на станции о. Котельный, а в мае вновь вплотную приблизились к среднегодовым значениям (от –8 до +6 см). Затем в июне среднемесячные значения продолжали повышаться, что характерно для сезонного хода уровня арктических морей в этой части моря Лаптевых, и на станции пр. Санникова достигли своего пика (+27 см).

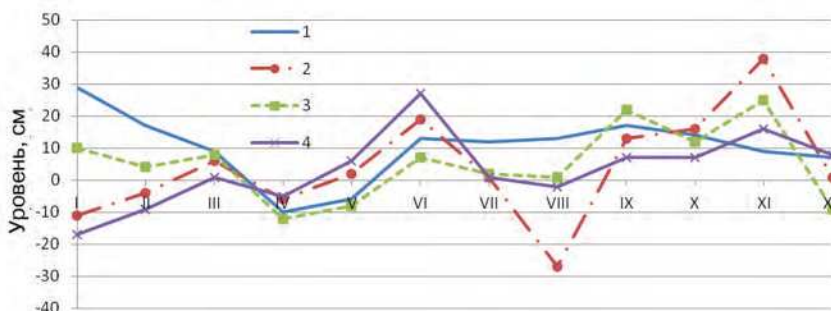


Рис. 3.3.2. Изменения среднемесячного значения уровня моря на станциях морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в 2015 г.

1 — Анабар, 2 — мыс Кигилях, 3 — о. Котельный, 4 — пр. Санникова.

В августе произошло понижение фона колебаний уровня моря, менее заметное на станциях пр. Санникова и о. Котельный (–2 и +1 см соответственно) и более выраженное на станции м. Кигилях (–27 см). На протяжении сентября — октября уровень моря в этом районе колебался, несколько превышая средние многолетние значения, от +7 см на станции пр. Санникова до +22 см в сентябре на станции о. Котельный. В ноябре на станциях м. Кигилях и м. Котельный произошло существенное повышение уровня моря — до +38 и +25 см соответственно, а на станции пр. Санникова в это время продолжала сохраняться положительная аномалия среднего уровня моря (+16 см). В декабре среднемесячные значения вновь приблизились к среднегодовым.

Оценить характер сезонных колебаний уровня в Восточно-Сибирском море не представляется возможным в связи с отсутствием регулярных наблюдений на протяжении года.

Сгонно-нагонные колебания уровня

Так же как и в последние несколько лет, в 2015 г. отмечены существенные изменения в режиме сгонно-нагонных колебаний уровня арктических морей. Ранее наиболее значительные анемобарические изменения уровня моря отмечались преимущественно в сентябре — октябре, реже в августе и ноябре и весьма редко в остальные месяцы года. В 2012 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в ноябре — январе или июле — августе, т. е. отмечался сдвиг пика сгонно-нагонных колебаний от осени к началу зимы и весне. То же самое наблюдалось и в 2013 г. В 2014 значительные сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в августе — сентябре.

В 2015 г. наиболее значительные сгоны в юго-западной части Карского моря отмечались 4 и 5 февраля на станциях Амдерма (–69 см), Усть-Кара (–52 см) и им. Е.К. Федорова (–66 см), в то время как в 2012 г. они наблюдались в мае и апреле, в 2013 г. — в ноябре и сентябре, а в 2014 г. — в феврале и августе. Наиболее значительные нагоны в этом районе Карского моря наблюдались 16 марта, когда значение уровня моря на станции Амдерма превысило среднее значение на 91 см, и 5 июля на станции Усть-Кара (+ 119 см). При этом на станции им. Е.К. Федорова (м. Большой Болванский Нос) наиболее значительные нагоны наблюдались 12 сентября, когда уровень на 97 см превысил среднее многолетнее значение, и 23 октября (+92 см).

В районе Енисейского залива наиболее значительное понижение уровня моря было зафиксировано 7 августа на станции Сопочная Карга (–85 см), а наиболее значительное повышение уровня моря в этом районе отмечалось 7 июня (+123 см) на той же станции.

В северо-восточной части Карского моря наиболее значительное понижение уровня моря отмечалось 5 июля на станции м. Стерлегова (–58 см), а наиболее значительный подъем уровня моря — 25 декабря, когда уровень превысил среднее многолетнее значение на станции о-ва Известия ЦИК на 80 см и на станции м. Стерлегова на 137 см.

Наиболее значительный сгон в юго-западной части моря Лаптевых наблюдался на станции Анабар 11 апреля (–60 см), а наиболее высоких отметок уровень моря достигал на той же станции в девяти месяцах 2015 г. (+48 см).

В восточной части моря Лаптевых, в районе Новосибирских островов, наиболее значительные сгоны были зафиксированы 24 августа и 13 декабря, когда уровень

моря на станции мыс Кигилях и о. Котельный опустился на 114 и 72 см ниже среднего многолетнего значения соответственно. Наиболее значительный подъем уровня моря наблюдался 24 ноября на станции м. Кигилях (+143 см).

Оценить сгонно-нагонные колебания уровня в Восточно-Сибирском море на протяжении всего 2015 г. невозможно в связи с отсутствием регулярных наблюдений. По данным отрывочных наблюдений на станции Певек можно сказать, что в мае уровень моря опускался на 51 см ниже среднего многолетнего значения, а в сентябре на 103 см превышал его.

Многолетние изменения уровня арктических морей

Практически во всех районах арктических морей колебания уровня моря до 1985 г. носили стационарный характер, и линейный тренд уровня в этот период был близок к нулю (табл. 3.3.1). Его значение составляло от 0,006 до 0,030 см/год при среднем значении 0,016 см/год и среднеквадратической ошибке $\pm 0,071$ см/год. После 1985 г. характер колебаний уровня моря на станциях арктических морей существенным образом изменился (рис. 3.3.3): в 1985 г. начался его резкий подъем, и в конце 1980-х — начале 1990-х годов колебания уровня моря происходили на повышенном фоне. Затем наблюдалось понижение уровня моря, и во многих районах арктических морей он даже вернулся к средним значениям. Однако в конце 1990-х — начале 2000-х годов уровень моря вновь стал повышаться и в 2005–2009 гг. достиг наблюдавшихся ранее максимумов и даже превысил их.

Таблица 3.3.1

Линейный тренд уровня (см/год) по районам арктических морей, определенный для трех периодов

Район	Период, годы		
	1950–2015	1950–1986	1984–2015
Юго-запад Карского моря	+0,294 $\pm$ 0,028	+0,006 $\pm$ 0,054	+0,459 $\pm$ 0,076
Восток Карского моря	+0,128 $\pm$ 0,032	+0,012 $\pm$ 0,078	+0,050 $\pm$ 0,086
Новосибирские острова	+0,210 $\pm$ 0,038	+0,030 $\pm$ 0,080	+0,241 $\pm$ 0,114
Среднее	+0,211 $\pm$ 0,033	+0,016 $\pm$ 0,071	+0,250 $\pm$ 0,092

В 2010 г. уровень моря вновь понизился до отметок, близких к средним значениям, после чего опять началось его повышение, носившее в период 2011–2015 гг. в разных районах арктических морей различный характер. В юго-западной части Карского моря происходило хорошо выраженное повышение уровня с возвратом к максимумам 2005–2009 гг. В восточной части Карского моря тенденции к повышению уровня были выражены слабо и носили, скорее, стационарный характер на повышенном фоне. В то же время в районе Новосибирских островов после подъема уровня моря с максимумом в 2012 г. произошло его резкое понижение с минимумом, наблюдавшимся в 2014 г.

Величина тренда за период 1984–2015 гг. для различных районов арктических морей составила от 0,050 до 0,459 см/год при среднем значении тренда 0,250 см/год и среднеквадратической ошибке $\pm 0,092$ см/год. При этом наиболее значительный тренд был зафиксирован, как и в 2014 г., в юго-западной части Карского моря. В районе Новосибирских островов значение линейного тренда изменилось от 0,270 $\pm$ 0,120 см/год (оценка для периода 1984–2014 гг.) до 0,241 $\pm$ 0,114 см/год.

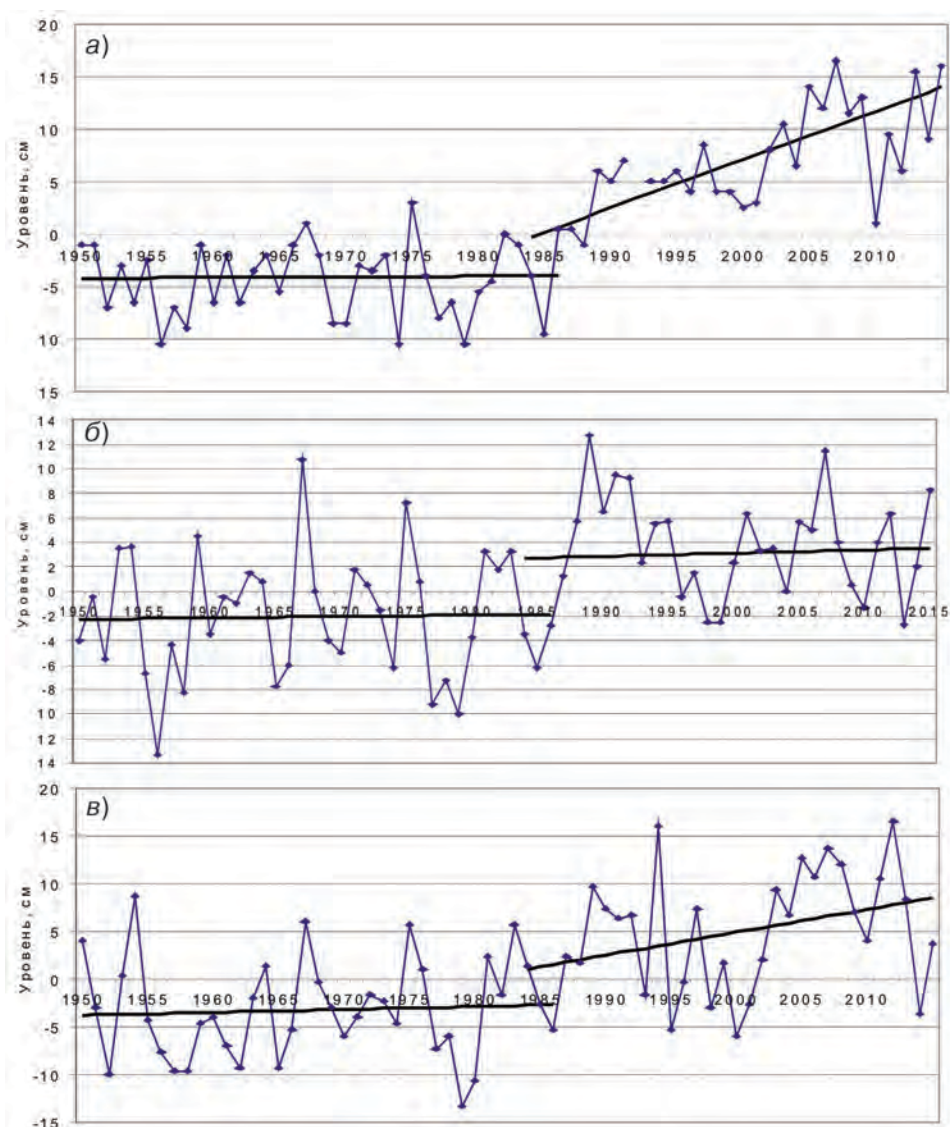


Рис. 3.3.3. Аномалии среднегодового уровня моря, осредненные по районам арктических морей.

а — юго-запад Карского моря, б — восток Карского моря, в — Новосибирские острова.

Прямыми линиями показаны линейные тренды.

Основной причиной таких изменений в характере колебаний уровня арктических морей можно считать изменения макроциркуляционных процессов, наблюдающиеся в атмосфере Северного полушария. Увеличение повторяемости и интенсивности циклонов, проходящих над акваторией арктических морей, приводит к усилению циклонической циркуляции, характерной для этих морей, и, следовательно, к понижению уровня моря в центре циркуляции и повышению его вдоль побережий. Иными словами, основная причина повышения уровня моря имеет динамический характер.

Выводы

Анализ данных наблюдений за колебаниями уровня на станциях арктических морей позволил сделать следующие выводы:

— на протяжении 2015 г. колебания уровня арктических морей в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения;

— сезонные колебания уровня моря в целом были близки к типичным и отличались хорошо выраженным годовым ходом с минимумом в весенний период и максимумами в осенний;

— в 2015 г., как и в предыдущие два года, наиболее существенные сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в ноябре — январе или июле — августе, т. е. отмечался сдвиг пика сгонно-нагонных колебаний от осени к началу зимы и весне;

— отмечается также и понижение абсолютных значений экстремальных сгонов и нагонов и как следствие колебаний уровня моря в целом;

— после понижения среднего уровня моря в 2010 г., отмечавшегося практически на всей акватории арктических морей, последовавшего за ним повышения среднего уровня в 2011 г. и сохранения повышенного фона в 2012 и в 2013 гг. в 2014 г. произошло некоторое понижение фона колебаний уровня моря, особенно существенное в районе Новосибирских остров, где уровень моря впервые после 2001 г. опустился ниже средних отметок. После этого в 2015 г. произошло небольшое повышение уровня во всех анализируемых районах арктических морей.

В.И. Дымов, Н.П. Яковлева

3.4. ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ НА АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Ввиду отсутствия продолжительных инструментальных измерений волнения в арктических морях России обзор ветрового волнения основывается на результатах модельных расчетов и прогнозов.

Расчеты морского волнения осуществлялись с использованием авторской спектрально-параметрической модели, разработанной в ЛО ГОИН и модифицированной в ААНИИ. Район российской Арктики аппроксимируется двумя большими расчетными областями с шагом $1,0^\circ$ по долготе и $0,5^\circ$ по широте. Первая расчетная область включает в себя Баренцево и Карское моря (западный сектор), а вторая — моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское (восточный сектор). Основными исходными данными модели являлись поля атмосферного давления на уровне моря (или поля составляющих скорости ветра на высоте 10 м), температура воздуха на высоте 2 м, а также батиметрические данные в узлах расчетной сетки. Исходные данные оперативно поступают из метеорологического центра в Брэкнелле (Великобритания, EGRR) 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.

По результатам модельных расчетов была выполнена оценка повторяемости значений максимумов значительной высоты волн (significant wave height) H_s обеспеченностью 13 % на акватории арктических морей России для отдельных месяцев года. Сведения о распределении величины H_s для Баренцева моря приведены в табл. 3.4.1, для Карского моря — в табл. 3.4.2, для морей восточной части Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского) — в табл. 3.4.3–3.4.5.

Баренцево море

Из табл. 3.4.1 видно, что на акватории Баренцева моря в 2015 г. преобладало волнение с высотой волн от 2 до 4 м (56 % случаев). Повторяемость случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составила в 2015 г. 15 %. Это почти в два раза больше по сравнению с 2014 г. (2007 г. — 30 %, 2008 г. — 27 %, 2009 г. — 24 %, 2010 г. — 23 %, 2011 г. — 16 %, 2012 г. — 13 %, 2013 г. — 10 %, 2014 г. — 8 %).

Таблица 3.4.1

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s) в Баренцевом море в 2015 г.

Месяц	Высота волн, м											
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9	9–10	10–11	11–12
Январь	–	–	6	11	5	4	1	3	1	–	–	–
Февраль	–	–	2	6	8	3	5	4	–	–	–	–
Март	–	–	4	13	5	–	2	1	2	2	1	1
Апрель	–	5	9	14	2	–	–	–	–	–	–	–
Май	–	2	16	12	1	–	–	–	–	–	–	–
Июнь	–	11	13	5	1	–	–	–	–	–	–	–
Июль	–	11	15	3	2	–	–	–	–	–	–	–
Август	3	11	15	2	–	–	–	–	–	–	–	–
Сентябрь	–	12	6	8	2	–	1	–	–	1	–	–
Октябрь	–	–	9	10	10	1	–	1	–	–	–	–
Ноябрь	–	–	5	7	7	7	4	–	–	–	–	–
Декабрь	–	–	1	13	8	2	4	1	1	1	–	–
Итого за год	3	52	101	104	51	17	17	10	4	4	1	1

Наиболее штормовыми месяцами 2015 г. стали март, сентябрь, декабрь и январь. Особенно выделялся март. В 2014 г. максимальная расчетная высоты волн в марте в Баренцевом море не превышала 9 м, а 13 марта 2015 г. она превысила 11,5 м. Это наибольшее значение высоты волны в марте за весь расчетный период начиная с 2007 г.

Продолжительность самого сильного мартовского шторма составила шесть дней (с 12 по 17 марта), причем пять дней из шести при западном ветре до 20 м/с максимальная расчетная высота волн превышала 8 м (от 8 до 11,5 м). Следующими по силе штормовой активности стали сентябрь (расчетная высота волн на 12 ч UTC 30 сентября составила более 9 м) и декабрь (высота волн более 9 м рассчитана 4 декабря на 00 и 06 ч UTC на входе в Баренцево море).

На рис. 3.4.1 в качестве примера приведены поля ветра и высоты волн H_s на акватории Баренцева моря на 12 ч UTC 13 марта 2015 г.

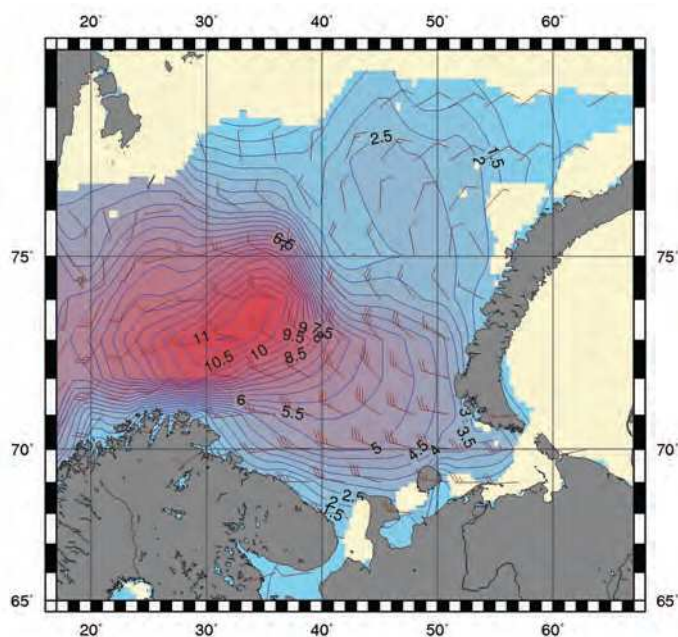


Рис. 3.4.1. Поля ветра и высоты волн (H_s м) в Баренцевом море на 12 ч UTC 13 марта 2015 г.

Карское море

Карское море стало открываться после 20 мая, что на месяц раньше, чем в 2014 г. К началу июня в Карском море образовалась достаточно большая область чистой воды к северу от п-ова Ямал. В табл. 3.4.2 приведена повторяемость различных градаций высоты волн на открытых участках Карского моря, свободных от льда с июня по декабрь 2015 г. Из таблицы видно, что на акватории Карского моря в 2015 г. преобладало волнение с высотой волн в диапазоне от 1 до 2 м (50 % случаев).

Максимальная высота волн составила 7,0–7,5 м, что в два раза больше, чем в 2014 г. В 2014 г. в Карском море волн высотой более 3,5 м рассчитано не было.

Таблица 3.4.2

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s) в Карском море в 2015 г.

Месяц	Высота волн, м							
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8
Июнь (с 24.06)	5	24	1	–	–	–	–	–
Июль	1	17	11	1	1	–	–	–
Август	6	16	6	2	1	–	–	–
Сентябрь	2	12	6	8	1	–	–	1
Октябрь	–	10	13	5	1	1	1	–
Ноябрь	1	11	10	5	3	–	–	–
Декабрь	3	16	6	6	–	–	–	–
Итого	18	106	53	27	7	1	1	1

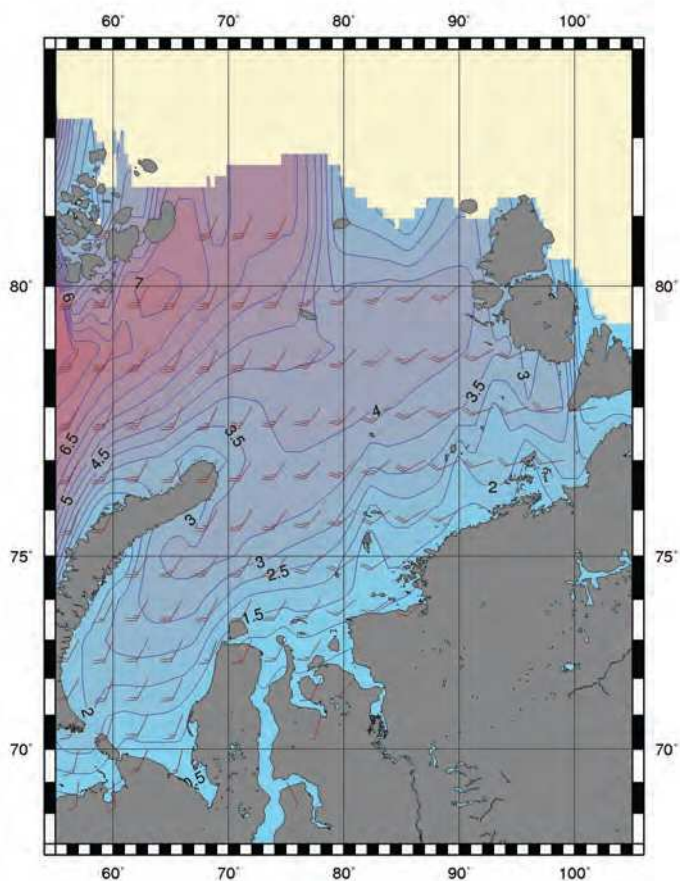


Рис. 3.4.2. Поля ветра и высоты волн (H_s м) в Карском море на 18 ч UTC 30 сентября 2015 г.

Наиболее штормовым месяцем стал сентябрь, когда высота волн на входе в Карское море превысила 7 м (30 сентября, 18 ч UTC). Следующим месяцем по штормовой активности стал октябрь (высота волн более 6,5 м рассчитана на 1 октября на 00 и 06 ч UTC).

Море полностью очистилось от льда к середине августа. Следует отметить, что в 2015 г. Карское море оставалось частично открытым в декабре и в начале января 2016 г. (в 2014 г. море закрылось в конце ноября).

На рис. 3.4.2 в качестве примера приведены поля ветра и высоты волн H_s на акватории Карского моря на 18 ч UTC 30 сентября 2015 г.

Моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское

Поскольку большую часть года моря восточной части Арктики покрыты льдом, в табл. 3.4.3–3.4.5 приведено распределение значительных высот волн только для тех месяцев, когда площадь свободных от льда акваторий позволяла выполнить оценки основных характеристик волнения. В таблицах учтены случаи ветрового волнения на акваториях морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского на открытой воде до кромки льда.

Таблица 3.4.3

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs)
на акватории моря Лаптевых в 2015 г.**

Месяц	Высота волн, м						
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7
Июнь (с 07.06)	20	4	–	–	–	–	–
Июль	16	15	–	–	–	–	–
Август	6	8	10	6	1	–	–
Сентябрь	–	9	11	4	4	1	1
Октябрь (дл 26.10)	4	12	7	3	–	–	–
Итого	46	48	28	13	5	1	1

Таблица 3.4.4

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs)
на акватории Восточно-Сибирского моря в 2015 г.**

Месяц	Высота волн, м					
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
Июль (с 10.07)	3	14	5	–	–	–
Август	–	11	10	10	–	–
Сентябрь	–	3	16	5	5	1
Октябрь	–	16	9	5	1	–
Ноябрь (до 17.11)	–	12	4	1	–	–
Итого	3	56	44	21	6	1

Таблица 3.4.5

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs)
в Чукотском море в 2015 г.**

Месяц	Высота волн, м				
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5
Июнь	6	16	6	2	–
Июль	2	28	1	–	–
Август	–	13	11	4	3
Сентябрь	–	9	11	7	3
Октябрь	–	6	9	15	1
Ноябрь	–	5	7	12	6
Декабрь (до 10.12)	4	–	2	4	–
Итого	12	77	47	44	13

Как видно из таблиц 3.4.3–3.4.5, в море Лаптевых преобладало волнение с высотой волн до 2 м (66 % случаев), в Восточно-Сибирском — от 1 до 3 м (76 % случаев), а в Чукотском море — от 1 до 2 м (40 % случаев). Наиболее штормовым месяцем для моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря стал сентябрь, а для Чукотского моря — период с августа по ноябрь.

В море Лаптевых (см. табл. 3.4.3) начиная со второй декады июня к востоку от пролива Вилькицкого образовалась небольшая область чистой воды, которая сохра-

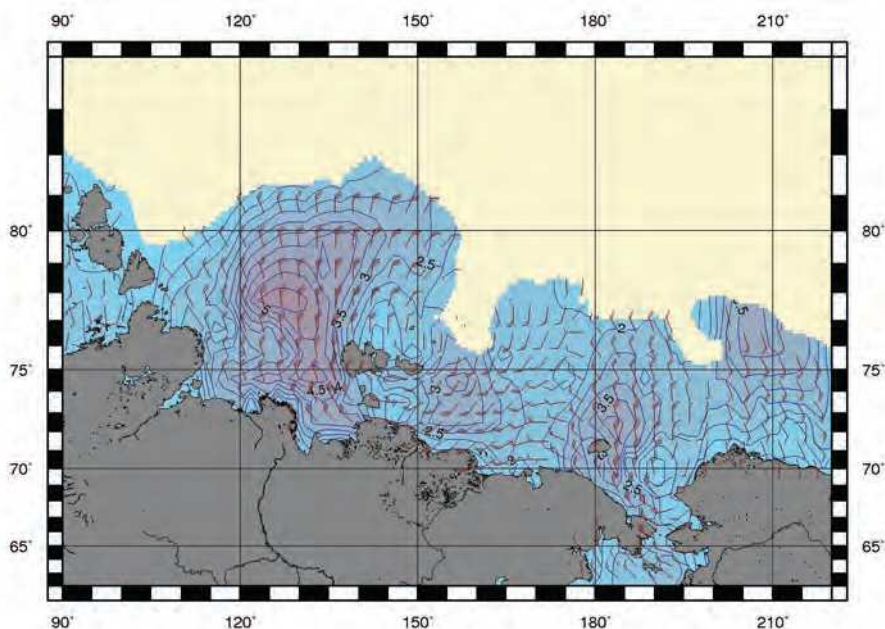


Рис. 3.4.3. Поля ветра и высоты волн (H_s м) в морях восточной Арктики на 12 ч UTC 25 сентября 2015 г.

нялась в течение июня и первой декады июля. Остальная часть моря была покрыта льдом. Во второй декаде июля море начало быстро открываться и закрылось в конце октября. Наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых составила 6,0–6,5 м (25 сентября, 18 ч UTC). Это значение на 1 м больше, чем в 2014 г.

Восточно-Сибирское море (см. табл. 3.4.4) стало открываться в начале июля, что на месяц позже, чем в 2014 г., а закрылось во второй декаде ноября. Наибольшая расчетная высота волн в Восточно-Сибирском море составила 5,0–5,5 м (26 сентября, 00 ч UTC). Это значение на 1 м меньше, чем по результатам расчетов для 2014 г.

Чукотское море (см. табл. 3.4.5), как и Карское, стало открываться после 20 мая. Закрылось море в начале декабря. Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила 4,5–5,0 м, что на 1 м меньше, чем по результатам расчетов для 2014 г.

Следует отметить, что значения высоты волн 4,5–5,0 м были рассчитаны в период с августа по ноябрь: 27 августа (06, 12 и 18 ч UTC); 28 августа (00, 06 и 12 ч UTC); 25 сентября (06 ч UTC) и 29 сентября (06 ч UTC); 3 октября (12 и 18 ч UTC); 9 ноября (12 и 18 ч UTC) и 10 ноября (00, 06, 18 ч UTC).

К середине сентября область чистой воды в морях восточной Арктики распространялась до 86°с.ш. На рис. 3.4.3 в качестве примера приведены поля ветра и высоты волн H_s на акватории морей восточной Арктики на 12 ч UTC 25 сентября 2015 г.

Выводы

Анализ результатов модельных расчетов значительной высоты волн ветрового волнения (H_s) на акватории арктических морей России за 2015 г. показал следующее.

В Баренцевом море преобладало волнение с высотой волн от 2 до 4 м (56 % случаев), наиболее штормовыми месяцами 2015 г. стали март, сентябрь, декабрь и

январь, причем особенно выделялся март. Максимальная расчетная высота волн в марте в Баренцевом море превысила 11,5 м. Это наибольшее значение высоты волн в марте за весь расчетный период начиная с 2007 г. Число случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составило в 2015 г. 13 %, что почти в два раза больше по сравнению с 2014 г.

В Карском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (50 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал сентябрь, когда максимальная высота волн составила 7,0–7,5 м, что в два раза больше, чем в 2014 г. Следует отметить, что в 2015 г. Карское море оставалось частично открытым в течение всего декабря и в начале января 2016 г. Такая же ситуация складывалась и в 2009, 2010, 2012 и 2013 гг.

В море Лаптевых преобладало волнение с высотой волн до 2 м (66 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал сентябрь, а наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых в 2015 г. составила 6,0–6,5 м, т.е. была больше, чем по данным расчетов за 2014 г.

В Восточно-Сибирском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 3 м (76 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал сентябрь, а наибольшая расчетная высота волн составила 5,0–5,5 м.

В Чукотском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (40 % случаев). Наиболее штормовыми месяцами здесь стали август, сентябрь, октябрь и ноябрь. Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море в эти месяцы составила 4,5–5,0 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщив данные мониторинга развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов и характера их проявления в метеорологических условиях полярного района Арктики за период январь — декабрь 2015 г., можно сделать следующие выводы.

В 2015 г. атмосферные процессы в Северной полярной области в первом секторе полушария развивались на фоне аномально повышенной повторяемости зональных процессов западной формы циркуляции, а во втором секторе — на фоне аномально высокой повторяемости меридиональных процессов разновидностей типов M_1 и M_2 .

В средней тропосфере на изобарической поверхности 500 гПа центр планетарного циркумполярного вихря в мае, сентябре и ноябре находился в приполюсном районе, вблизи своего среднего многолетнего положения. В период январь — апрель, в октябре и декабре его основной центр чаще формировался над Канадой, в июне и июле — в западном секторе полярного района Арктики, а в августе — над восточным сектором Арктики.

В атлантико-евразийском и тихоокеано-американском секторах Северного полушария ВФЗ чаще располагалась севернее своего среднего многолетнего положения, что определило смещение циклонов в системах исландского и алеутского минимумов в полярный район Арктики по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям.

В приземном поле в 2015 г. фон давления в районе исландского минимума был ниже нормы. Среднегодовая отрицательная аномалия давления в районе Исландии составила 4 гПа. Центр исландского минимума располагался чаще в районе своего среднего многолетнего положения, и его генеральная ложбина была ориентирована через Баренцево и Карское моря на континентальную часть Европы и Западной Сибири, где в 2015 г. отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность. Здесь преобладали отрицательные аномалии давления.

При высокоширотных траекториях циклонов знак среднегодовой аномалии давления в полярном районе Арктики в 2015 г. по сравнению с 2014 г. сменился на противоположный — от положительных к отрицательным значениям. Среднегодовое падение давления по сравнению с прошлым годом составило по отдельным районам от 2 до 5 гПа.

При высокой повторяемости высокоширотных траекторий смещения циклонов в полярный район Арктики в толще тропосферы отмечались преобладающая направленность воздушных потоков с южной составляющей и формирование положительных аномалий температуры воздуха в полярном районе.

Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха (более 5 °С) отмечались в районах Гренландии и Канады. Эти районы внесли наибольший вклад в формирование аномально высокого температурного фона полярного района в 2015 г.

В среднем по полярному району аномалия температуры воздуха в 2015 г. составила 3,4 °С, что на 0,2 °С меньше, чем в 2014 г., и на 0,8 °С меньше экстремального значения, наблюдавшегося ранее (в 2012 г.).

Над акваторией морей российской Арктики положительный фон температуры воздуха также сохранялся. Наиболее высокие положительные значения аномалии температуры воздуха отмечались в районах западных морей — Баренцева и Карского, а наиболее низкие — в районах восточных морей — Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского.

По сравнению с предшествующим годом отмечалось повышение температурного фона в районе Баренцева и Карского морей (на 1 °С). Над акваторией морей Лаптевых, Чукотского и Восточно-Сибирского температурный фон в 2015 г. оказался ниже, чем в 2014 г., на 1–2 °С.

Результаты мониторинга атмосферных процессов в Арктике позволяют сделать основной вывод о том, что аномально высокий температурный фон в Северной полярной области, характерный для текущей циркуляционной эпохи (1996–2014 гг.), сохранился и в 2015 г. Однако начала проявляться тенденция к его понижению. Понижение температурного фона в Арктике сопряжено с увеличением повторяемости в последние годы более низкоширотных траекторий циклонов.

Для развития ледовых условий в 2015 г. были характерны следующие особенности.

В период максимального нарастания ледяного покрова (конец мая) в структурном составе льдов всего бассейна Северного Ледовитого океана преобладали однолетние толстые льды, площадь которых составляла около 50 % общей площади льда. Около 40 % общего количества льда составляли старые льды. По данным полярных станций, аномалии толщины льда везде были отрицательными (за исключением Карского моря) и составляли от –5 до –20 см. Припай в российских арктических морях был развит значительно меньше по сравнению со средними многолетними значениями.

В летний период ледовые условия во всех арктических морях развивались по легкому типу. Общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2015 г. составила 4,5 млн км² при норме 6,3 млн км², что на 28,5 % меньше средних многолетних значений. Значения общей ледовитости в СЛО и в его отдельных секторах оказались меньше средних многолетних значений за длинный (1978–2015 гг.) и короткий (2004–2015 гг.) ряды наблюдений. Однако остаточная ледовитость в СЛО в 2015 г. существенно превышала остаточную ледовитость, наблюдавшуюся в аномально легких 2007 и 2012 гг. (на 0,5–1,0 млн км²).

Ледообразование в осенний период 2015 г. началось позже средних многолетних сроков, но характеризовалось большой интенсивностью. Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины сентября по середину октября, составило около 2,5 млн км² (на 0,5 млн км² больше среднего многолетнего значения).

Для развития гидрологических условий в 2015 г. были характерны следующие особенности.

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2015 г., гидрологический режим СЛО продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему.

Распределение солёности поверхностного слоя характеризуется наличием дипольной структуры, выраженной отрицательной аномалией солёности (–3 ‰ в зимний период и –2,3 ‰ в летний период) в Амеразийском суббассейне и положительной аномалией (до +1,9 ‰ в апреле — июне) в Евразийском. При этом абсолют-

ные значения аномалии солёности по сравнению с 2014 г. возросли в Амеразийском бассейне на 0,5 ‰, а в Евразийском на 0,9 ‰ (апрель — июнь).

Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ). Как в Евразийском, так и в Амеразийском суббассейне положительная аномалия АВ в 2015 г. составила 0,3–0,4 °С, что соответствует оценкам, полученным и в 2014 г. Верхняя граница АВ, определяемая по изотерме 0 °С, залегала на 50 м выше своего климатического положения.

Так же как и АВ, летние тихоокеанские воды (ЛТВ) в Амеразийском суббассейне характеризуются повышенными значениями температуры, превышающими климатическую норму на 1,4–1,5 °С. Нижняя граница ЛТВ залегала на более глубоких горизонтах (160–170 м) по сравнению со средним климатическим положением (120–130 м).

На протяжении 2015 г. колебания уровня в арктических морях в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения. При этом сезонные колебания уровня в целом были близки к типичным и отличались хорошо выраженным годовым ходом с минимумом в весенний период и максимумами в осенний.

После повышения среднего уровня моря в 2011 г. и сохранения его повышенного фона в 2012–2013 гг. в 2014 г. произошло некоторое понижение фона колебаний уровня, особенно существенное в районе Новосибирских остров, где уровень моря впервые после 2001 г. опустился ниже средних отметок, однако в 2015 г. на всей акватории арктических морей произошло небольшое повышение уровня.