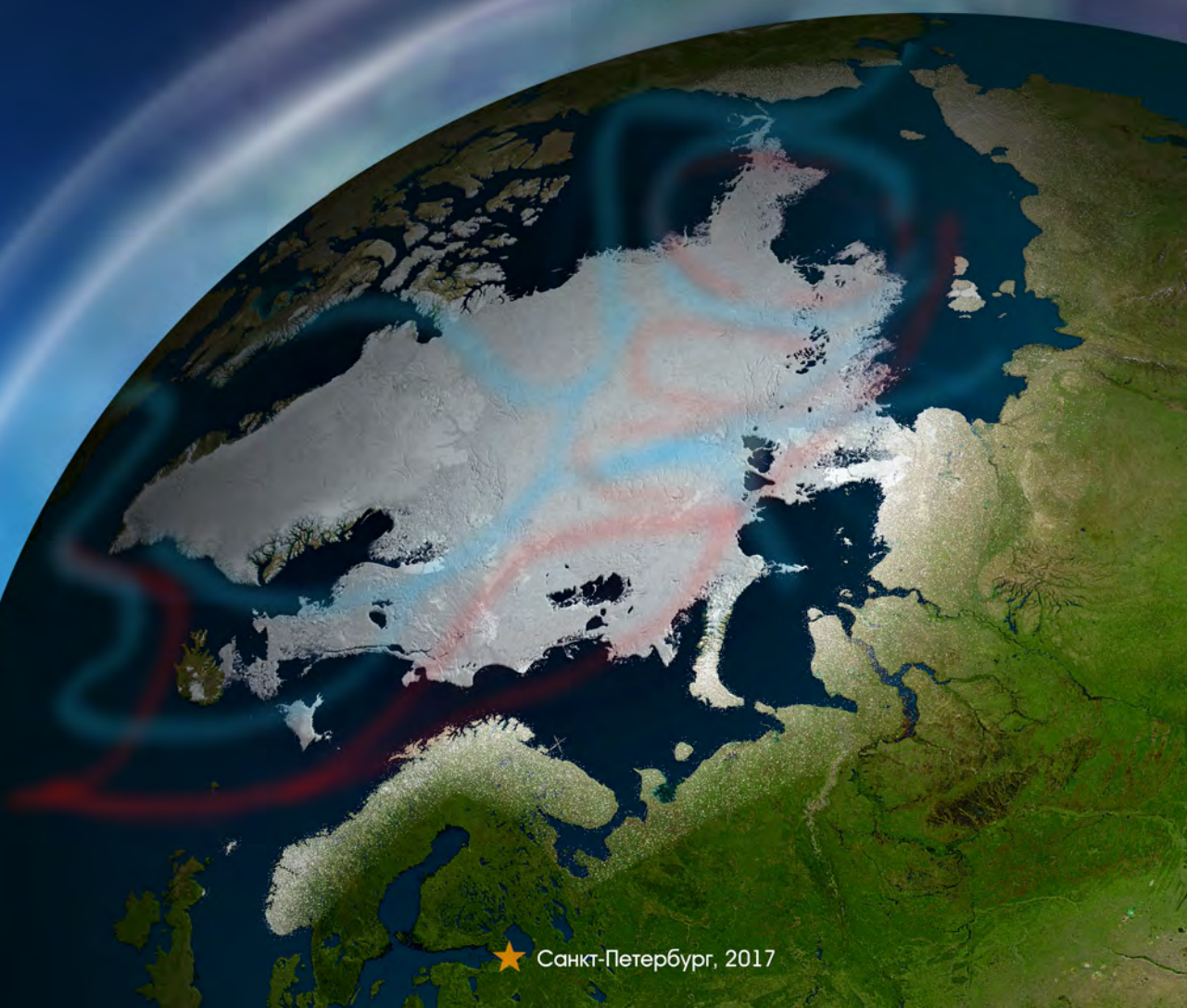
МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ
АРКТИЧЕСКИЙ
И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ

ОБЗОР

гидрометеорологических процессов в Северной полярной области

2016



Санкт-Петербург, 2017

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 СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРОЙ ОБЛАСТИ

2016

Под редакцией
чл.-кор. РАН, д-ра геогр. наук И.Е. Фролова

Санкт-Петербург
ААНИИ
2017

УДК 551.5(02)(268.5)

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северной полярной области, Северном Ледовитом океане и его морях в 2016 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 14.04.2017
Формат 70×100 1/16
Тираж 200

Печать офсетная
Печ. л. 6
Заказ № 947

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

ISBN 978-5-98364-079-5

© Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
(ГНЦ РФ ААНИИ), 2017

СОДЕРЖАНИЕ

1. Метеорологические условия в Северной полярной области 4
1.1. *В.В. Иванов, Г.А. Алексеенков.* Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь — декабрь 4
1.2. *Е.И. Александров, В.Ф. Радионов, В.Р. Байбородова.* Мониторинг климата приземной атмосферы Северной полярной области 22
2. Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях 33
2.1. *В.П. Карклин, А.В. Юлин.* Развитие ледовых условий в зимний период (январь — март) 36
2.2. *А.В. Юлин, Е.А. Павлова, А.Б. Тимофеева.* Развитие ледовых условий в весенний период (апрель — июнь) 42
2.3. *Л.П. Мочнова, С.В. Хотченков, А.В. Юлин* Развитие ледовых условий в летний период (июль — сентябрь) 49
2.4. *В.М. Смолянцкий, А.Д. Федорова, А.В. Юлин.* Развитие ледовых условий в осенний период (октябрь — декабрь) 56
2.5. *Ю.В. Налимов, А.А. Степанова, Н.Л. Корельская.* Ледово-гидрологические процессы в устьевых областях рек 64
3. Гидрологические и гидрохимические условия в Северном Ледовитом океане и его морях 75
3.1. *М.С. Махотин, Н.В. Лебедев, В.Ю. Карпий, Л.А Тимохов.* Термохалинные условия 75
3.2. *И.М. Ашик, В.А. Меркулов.* Уровень арктических морей 81
3.3. *В.И. Дымов, Н.П. Яковлева.* Ветровое волнение на акватории арктических морей 87
Заключение 94

1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

В.В. Иванов, Г.А. Алексеенков

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 2016 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 2016 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 также выделяются три типа процессов — западный З и меридиональные $М_1$ и $М_2$.

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 про-

цессов 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 географической ориентации центра ЦПВ и положения 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 2016 г. были выявлены особенности их развития.

Фоновые особенности развития атмосферных процессов в 2016 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).

В первом секторе Северного полушария в течение 2016 г. отмечались частые перестройки в направленности развития крупномасштабных атмосферных процессов (см. рис. 1.1.1). В целом за год наибольшую повторяемость имели процессы восточной (*E*) формы циркуляции. Число дней с данной формой по сравнению с 2015 г. значительно увеличилось (на 60 дней) и превысило многолетнюю норму на 35 дней.

Во втором секторе в целом за 2016 г. аномально высокой была повторяемость меридиональных процессов типов M_1 и M_2 — она превысила многолетнюю норму

Таблица 1.1.1

Годовые значения числа дней с формами и типами циркуляции и их отклонения от нормы в 2016 г.

Показатель	Индексы циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	W	*C*	*E*	З	M_1	M_2
Число дней	103	82	181	61	124	181
Аномалия	–24	–11	35	–69	24	45

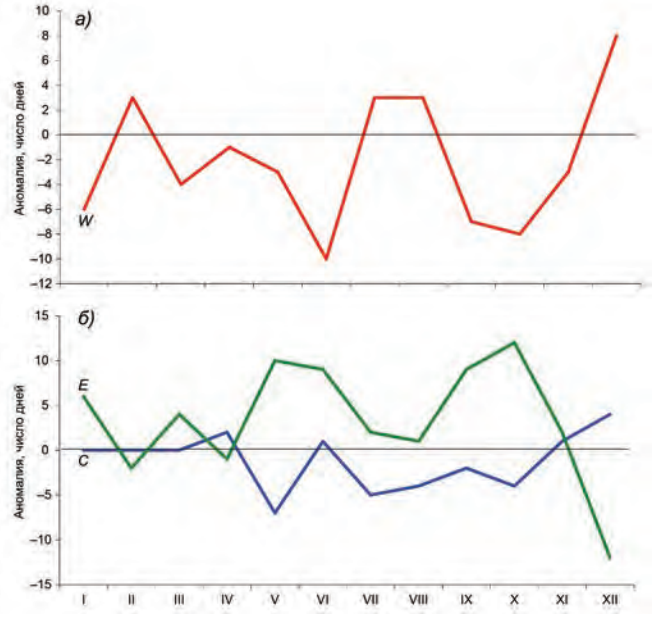


Рис. 1.1.1. Годовой ход среднемесячных аномалий повторяемости зональной (*а*) и меридиональных (*б*) форм циркуляции в атлантико-евразийском секторе в 2016 г.

W — западная (зональная) форма, *C* — меридиональная форма, *E* — восточная (меридиональная) форма.

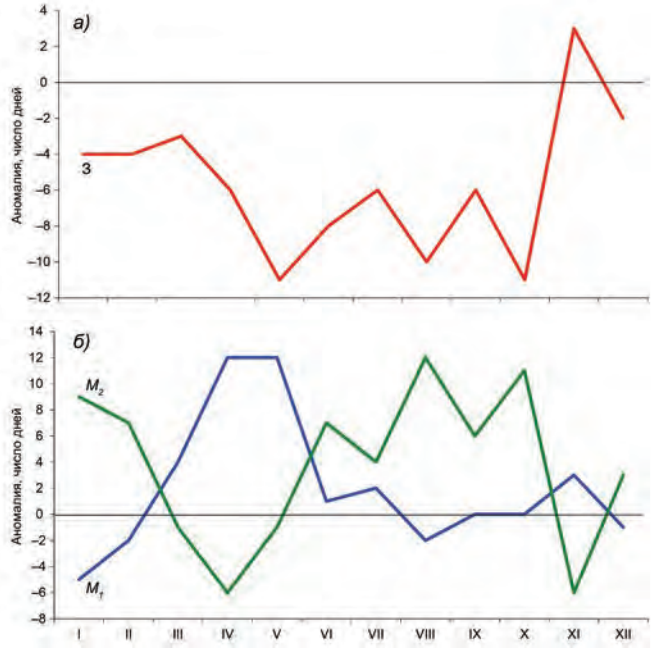


Рис. 1.1.2. Годовой ход среднемесячных аномалий повторяемости зональной (*а*) и меридиональными (*б*) форм циркуляции в тихоокеано-американском секторе в 2016 г.

З — зональная форма, M_1 — первая меридиональная форма, M_2 — вторая меридиональная форма.

на 24 и 45 дней соответственно. Наибольшая повторяемость процессов типа M_1 отмечалась в периоды январь — февраль и июнь — ноябрь.

В период март — май и в ноябре часто преобладала разновидность меридиональных процессов типа M_2. Повторяемость процессов этого типа по сравнению с 2015 г. значительно — на 29 дней — увеличилась.

Повторяемость зональных процессов в период с января по ноябрь была устойчиво ниже нормы и превысила средние многолетние значения только в декабре.

В средней тропосфере, на изобарической поверхности 500 гПа, центр планетарного циркумполярного вихря в январе, феврале, октябре и ноябре находился над Канадой, в июне — сентябре — в приполюсном районе, вблизи своего среднего многолетнего положения. В период с марта по май и в декабре ЦПВ имел два центра: над Канадой и Азией. В эти периоды полярный район Арктики часто находился под влиянием высотных гребней антициклонов.

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 2016 г. располагалась чаще севернее своего среднего многолетнего положения. В результате этого 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.

Рис. 1.1.3. Поле среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2016 г.

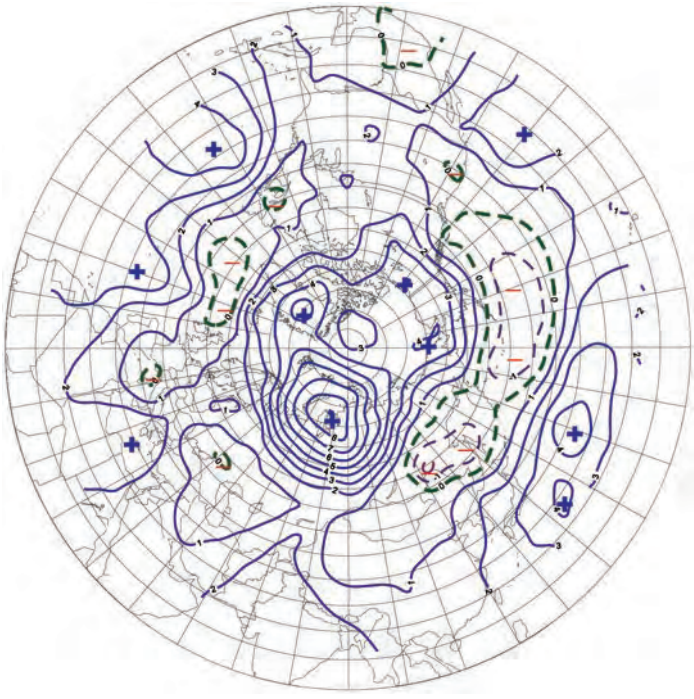


Рис. 1.1.4. Поле средней аномалии геопотенциала (дам) на изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2016 г.

В 2016 г. в приземном поле фон давления в районе исландского минимума был близок к норме. Центр исландского минимума располагался чаще в районе своего среднего многолетнего положения. При высокой повторяемости антициклонов в районе Западной Сибири и Западной Европы его генеральная ложбина была ориентирована на приполюсный район полярного района Арктики,

Фон давления в районе алеутского минимума был ниже нормы. Среднегодовая отрицательная аномалия давления в районе Берингова моря составила 3 гПа. При усилении циклонической деятельности в районе Берингова моря в 2016 г. по сравнению с 2015 г. знак среднегодовой аномалии давления сменился на противоположный — от положительных значений к отрицательным. Среднегодовое падение давления по сравнению с предшествующим годом составило от 2 до 3 гПа. Центр алеутского минимума располагался чаще северо-восточнее своего среднего многолетнего положения, и его ложбина была ориентирована через Чукотское море на полярный район.

В 2016 г. циклоны в системе исландского и алеутского минимумов смещались в Арктику в основном по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям. Исключение составил период март — май, когда под влиянием гребней арктического антициклона преобладали низкоширотные траектории циклонов. Более высокая, чем в предшествующем 2015 г., повторяемость высокоширотных траекторий циклонов в системе исландского и алеутского минимумов способствовала формированию отрицательных среднегодовых аномалий давления в Арктике (рис. 1.1.5 и. 1.1.6).

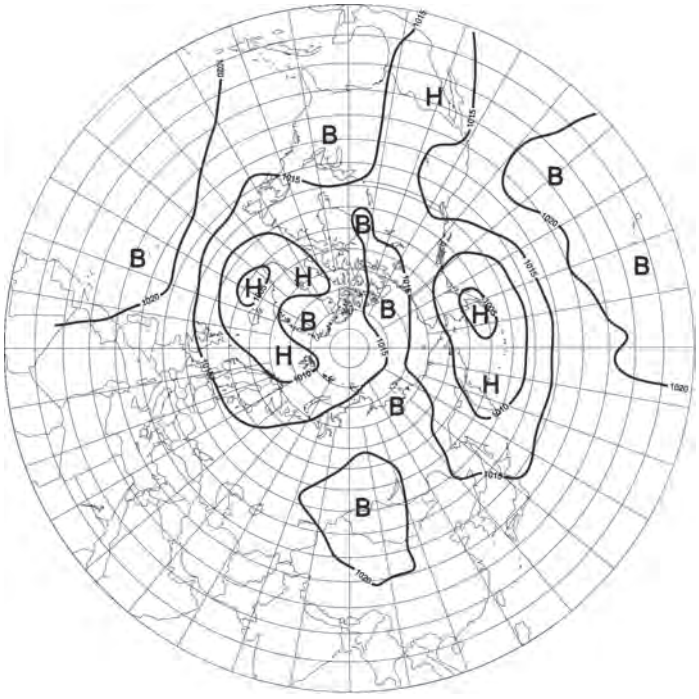


Рис. 1.1.5. Поле среднего приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2016 г.

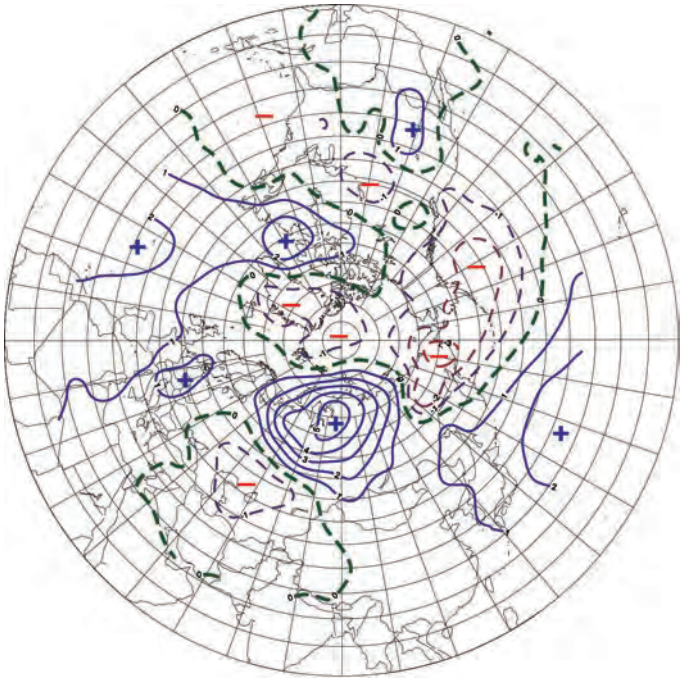


Рис. 1.1.6. Поле средней аномалии приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2016 г.

Преобладание в 2016 г. высокоширотных траекторий циклонов способствовало сохранению характерной для текущей циркуляционной стадии адвекции теплых воздушных масс в полярный район Арктики и формированию температурного фона с положительными аномалиями температуры воздуха.

Сложившаяся направленность крупномасштабных атмосферных процессов в системе ОЦА Северного полушария в 2016 г. во многом предопределила резкое

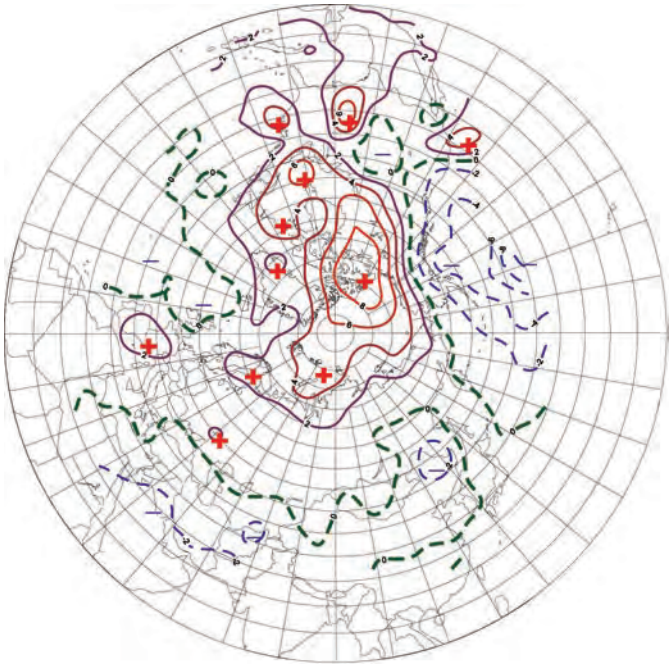


Рис. 1.1.7. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха (°С)
за период январь — декабрь 2016 г.

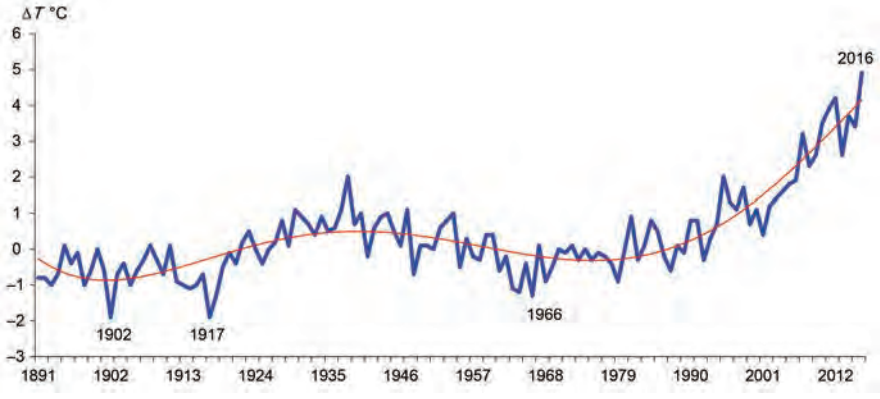


Рис. 1.1.8. Средние годовые аномалии температуры воздуха (°С)
в широтном поясе 70–85° с.ш. (1891–2016 гг.).

повышение температурного фона в полярном районе Арктики. Высокая повторяемость высокоширотных траекторий циклонов в системе исландского и алеутского центров действия атмосферы способствовала интенсивной и устойчивой в течение года адвекции теплых воздушных масс в полярный район Арктики.

Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха отмечались в районах Баренцева и Карского морей и северной Канады, где среднее годовое значение аномалии составило более 6 °С (рис. 1.1.7). Эти районы внесли наибольший вклад в формирование экстремально высокого температурного фона полярного района в 2016 г. В среднем по полярному району аномалия температуры воздуха составила 4,9 °С, что больше экстремального значения, ранее наблюдавшегося в 2012 г. (рис. 1.1.8).

Структурный анализ внутригодовых и внутримесячных особенностей развития атмосферных процессов в 2016 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 2016 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 2016 г. по среднемесячным данным выглядит следующим образом:

январь (E_{M_2}) → февраль (W_{M_2}) → март (E_{M_1}) →
апрель (C_{M_1}) → май (E_{M_1}) → июнь $(E+C)_{M_2+M_1}$ →
июль $(W+E)_{M_1}$ → август $(W+E)_{M_2}$ → сентябрь (E_{M_2}) →
октябрь (E_{M_2}) → ноябрь (E_3) → декабрь — $(W+C)_{M_2}$

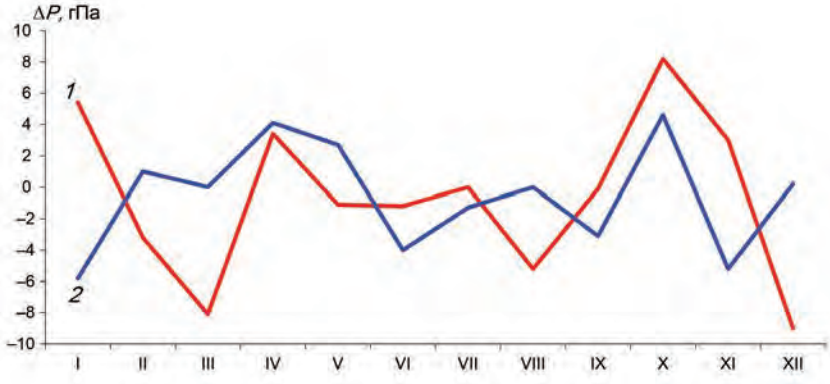


Рис. 1.1.9. Интегральные кривые среднемесячных значений аномалии давления в период январь — декабрь 2016 г. в европейском (*1*), и американском (*2*) секторах полярного района Арктики.

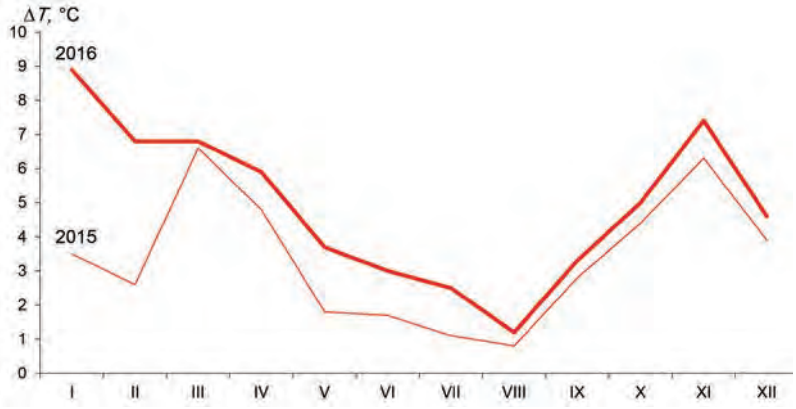


Рис. 1.1.10. Годовой ход среднемесячных значений аномалии температуры воздуха (°С) в широтном поясе 70 — 85° с.ш. в 2015 и 2016 гг.

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.

В тенденциях изменения давления и температуры воздуха в полярном районе Арктики выделяется пять периодов.

В период январь — февраль полярный район Арктики находился преимущественно под влиянием гребней азиатского антициклона, что обусловило формирование фона давления выше нормы. В период март — май полярный район Арктики находился под влиянием антициклонов, центр которых в большинстве случаев располагался восточнее приполюсного района.

В период июнь — сентябрь, а также в декабре в Арктике отмечалась активная циклоническая деятельность, что обусловило формирование фона давления ниже нормы.

В период октябрь — ноябрь приатлантический сектор Арктики находился под влиянием гребня обширного антициклона с центрами над Западной Сибирью и Европой, что предопределило формирование фона давления в Арктике выше нормы.

Внутригодовые изменения среднемесячных значений аномалии температуры воздуха в Арктике в широтном поясе 70—85° с.ш. в январе — декабре 2015 и 2016 гг. представлены на рис. 1.1.10.

Во все месяцы 2016 г. преобладал фон температуры выше нормы. Основные внутригодовые тенденции в изменении температурного фона в полярном районе в 2016 г. близки к соответствующим характеристикам 2015 г. (см. рис. 1.1.10).

Наибольшие положительные значения аномалии отмечались под влиянием циклонов с Северной Атлантики и Тихого океана в холодные месяцы года (январь — апрель и октябрь — декабрь). По сравнению с 2015 г. наибольшее повышение температуры воздуха наблюдалось в январе и феврале. Наименьшие аномалии наблюдались в июле и августе под влиянием на западный сектор Арктики тыловой части проходящих циклонов с Северной Атлантики.

Отмеченные тенденции изменения фона температуры воздуха в течение 2016 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 2016 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 2016 г. описаны ниже.

В ***январе*** основной центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа располагался в районе Канады. Полярный район Арктики находился под влиянием высотных гребней азиатского и американского антициклонов, блокирующих выходы циклонов в полярный район. Вследствие этого основной западный воздушный поток в средней тропосфере был направлен в меридиональном направлении в Арктику.

В первом (атлантико-евразийском) секторе отмечалась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов восточной формы циркуляции. Над Азией располагался устойчивый антициклон, гребень которого часто был ориентирован на западный сектор Арктики. Циклоны с Северной Атлантики смещались высокоширотными траекториями. Фон давления в данном секторе был значительно выше нормы, и аномалия в среднем за месяц превышала 14 гПа. При устойчивых меридиональных направлениях воздушных потоках с южной составляющей сформировался фон температуры воздуха значительно выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 8—13 °С) отмечались в районе Карского моря.

Во *втором (тихоокеано-американском) секторе* аномально повышенную повторяемость имели крупномасштабные процессы типа M_2. Характерной особенностью развития данного макропроцесса стало усиление антициклона над Северной Америкой. Вследствие этого циклоны в системе алеутского минимума смещались на северо-восток и оказывали влияние на данный сектор Арктики. Фон давления был ниже нормы на 2—6 гПа. При воздушных потоках юго-восточных и южных направлений сформировался температурный фон выше нормы на 6—10 °С.

В ***феврале*** пространственная ориентация основных высотных гребней и ложбин над полярным районом сохранилась. Отличием по сравнению с январем стало ослабление высотного гребня азиатского антициклона и усиление гребня над полярным районом, под которым в приземном поле сформировался устойчивый антициклон с центром над восточным сектором Арктики.

В *первом секторе* произошла перестройка атмосферных процессов от восточной формы циркуляции к западной. При ослаблении гребня азиатского антициклона на западный сектор Арктики циклоны в системе исландского минимума смещались по более высокоширотным траекториям, чем в январе. Фон давления в районе западных морей понизился до отрицательных аномалий. При воздушных потоках с южной составляющей фон температуры воздуха сохранился выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха отмечались над юго-западной частью Карского моря.

Во *втором секторе* сохранилась аномально повышенная повторяемость крупномасштабных процессов типа M_2. Особенностью процессов данного месяца

стало усиление арктического антициклона. Фон давления повысился на 2—6 гПа. Циклоны в системе алеутского минимума влияли на Аляску и акваторию моря Бофорта. При воздушных потоках восточных и северо-восточных направлений аномалии температуры воздуха оставались положительными, но значения понизились на 2—4 °С.

В ***марте*** основной центр ЦПВ на изобарической поверхности 500 гПа, располагавшийся над Канадой, сместился к северу Гренландии и его генеральная ложбина была направлена на море Лаптевых. Вследствие этого влияние высотных гребней азиатского и американского антициклонов на полярный район по сравнению с февралем было ослаблено.

В *первом секторе* произошла перестройка атмосферных процессов от западной формы циркуляции к восточной. Над континентальной частью Европы отмечалась большая повторяемость взаимодействия гребней азорского и азиатского антициклонов.

Циклоны с Северной Атлантики смещались в широтном направление до Карского моря. Фон давления по сравнению с февралем понизился на 5—9 гПа. Фон температуры воздуха сохранился выше нормы со значениями положительных аномалий 8—10 °С.

Во *втором секторе* произошло ослабление меридиональных процессов типа M_2 за счет увеличения повторяемости зональных и меридиональных процессов типа M_1. При данных процессах наиболее активная циклоническая деятельность отмечалась над восточной частью акватории Тихого океана и над континентальной частью Америки. Над восточным сектором Арктики преобладал антициклонический знак поля давления с незначительными положительными аномалиями. Воздушные потоки были неустойчивыми по направлению. Фон температуры был на 4—8 °С выше нормы.

В ***апреле*** основной центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа располагался в районе Канады. Полярный район Арктики находился под влиянием высотных гребней с Северной Атлантики и Североамериканского континента, блокирующих выходы циклонов в полярный район Арктики.

В *первом секторе* отмечалась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных меридиональных процессов формы *С* циркуляции. Район Северной Атлантики находился под влиянием гребней азорского и арктического антициклонов. Наиболее активная циклоническая деятельность отмечалась над континентальной частью Европы. В полярном районе располагался устойчивый антициклон, который сформировал фон давления выше нормы до средних месячных положительных аномалий 6—8 гПа.

При воздушных потоках юго-восточных и восточных направлений сформировался фон температуры воздуха выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 7—9 °С) отмечались в районе Карского моря.

Во *втором секторе* аномально повышенную повторяемость сохранили крупномасштабные процессы типа M_1. Особенностью процессов данного месяца стало усиление гребня арктического антициклона над востоком Северной Америки. Вследствие этого циклоны в системе алеутского минимума смещались на западные районы Североамериканского континента и не оказывали влияния на полярный рай-

он Арктики. Фон давления в данном секторе Арктики был выше нормы на 6—9 гПа. Под влиянием теплой части арктического антициклона при воздушных потоках юго-восточных и южных направлений сформировался температурный фон выше нормы на 4—8 °С.

В ***мае*** полярный район находился под влиянием высотного гребня антициклона, под которым в приземном поле сформировался обширный антициклон. Основной центр ЦПВ находился над районом Таймыра, ложбина его была ориентирована на север Гренландии и Канады.

В *первом секторе* произошла перестройка атмосферных процессов от меридиональной к восточной форме циркуляции. Над континентальной частью Европы располагался устойчивый антициклон. Гребень антициклона был ориентирован на север, где он часто взаимодействовал с арктическим антициклоном. Циклоны в системе исландского минимума доходили только до акватории Норвежского и Баренцева морей. Фон давления в приполюсном районе и над акваторией западных морей был выше нормы на 2—6 гПа. При воздушных потоках с южной составляющей сохранился фон температуры воздуха выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 6 °С) отмечались над южной частью Баренцева моря.

Во *втором секторе* сохранилась аномально повышенная повторяемость крупномасштабных процессов типа M_1. Особенностью процессов данного месяца стало усиление гребня гавайского антициклона и взаимодействие его с арктическим антициклоном. Вследствие этого циклоны не оказывали влияния на полярный район Арктики. Фон давления в данном секторе Арктики был выше нормы на 2 гПа. При воздушных потоках восточных направлений сформировался температурный фон выше нормы на 3—4 °С.

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

В *первом секторе* наибольшую повторяемость имели разновидности меридиональных процессов восточной (*E*) и меридиональной (*C*) форм циркуляции. Число дней с этими формами циркуляции составило 18 и 12 соответственно. Под влиянием блокирующих гребней в начале месяца над Северной Атлантикой, а в дальнейшем над континентальной частью Евразии циклоны в системе исландского минимума смещались по высокоширотным траекториям в полярный район Арктики.

По сравнению с маем произошла смена знака барического поля от антициклонического к циклоническому. Фон давления понизился от положительных аномалий к отрицательным (на 10 гПа).

Фон температуры воздуха сохранился выше нормы. Очаг с наиболее крупными значениями положительных аномалий среднемесячной температуры воздуха сместился с акватории южной части Баренцева моря в район юго-западной части Карского моря.

Во *втором секторе* сохранилось преобладание меридиональных процессов типов M_1 и M_2. Находясь под устойчивым влиянием гребня гавайского антициклона над Тихим океаном, циклоны в системе алеутского минимума смещались в восточный сектор полярного района Арктики по более высокоширотным по сравнению с

нормой траекториям. Фон давления понизился на 4—6 гПа. Воздушные потоки преимущественно юго-западных и южных направлений обусловили адвекцию теплых воздушных масс и положительные аномалии температуры воздуха.

В ***июле*** положение основного центра циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа сохранилось. Две его высотные ложбины были ориентированы на район Исландии и Канады.

В *первом секторе* отмечалась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов западной и восточной форм циркуляции. Под влиянием гребней азорского и континентального антициклонов над континентальной частью Евразии циклоны в системе исландского минимума смещались по высокоширотным траекториям в полярный район Арктики. Фон давления в приатлантическом и в приполюсном районах был ниже нормы. При устойчивых по времени воздушных потоках юго-восточных и юго-западных направлений сформировался фон температуры воздуха выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры (до 8—10 °С) отмечались в районе юго-западной части Карского моря.

Во *втором секторе* сохранилась аномально повышенная повторяемость крупномасштабных процессов типа $М_1$. Особенностью процессов данного месяца явилось усиление антициклона над Тихим океаном. Вследствие этого циклоны в системе алеутского минимума смещались по высокоширотным траекториям в полярный район. Фон давления в данном секторе Арктики был ниже нормы на 3—4 гПа.

Под частым влиянием тыловой части проходящих циклонов и отходах воздушных потоков к северо-западным направлениям температурный фон по сравнению с июнем понизился. В районах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского фон температуры в июле понизился и перешел к отрицательным аномалиям.

В ***августе*** характер в направленности крупномасштабных атмосферных процессов сохранился. Основной центр ЦПВ находился над полюсом, под которым в приземном поле сформировался обширный циклон. Отличием по сравнению с предыдущим месяцем стало влияние высотного гребня гавайского антициклона на район Аляски и моря Бофорта.

В *первом секторе* сохранилась повышенная повторяемость процессов западной и восточной форм циркуляции. Гребень азорского антициклона был ориентирован на континентальную часть Евразии. Наиболее активная циклоническая деятельность отмечалась в западных морях Арктики и в районе полюса при высокоширотных траекториях циклонов из Северной Атлантики. Фон давления в этих районах был устойчиво ниже нормы с максимальными аномалиями до 10—11 гПа. Фон температуры во всех районах этого сектора Арктики из-за частого влияния тыловой части проходящих циклонов понизился до отрицательных аномалий. Высокие значения положительных аномалий температуры (4—5 °С) сохранились только в юго-западной части Карского моря.

Во *втором секторе* произошла перестройка в направленности процессов меридиональной циркуляции от типа $М_1$ к типу $М_2$. Особенностью перестройки процессов в августе стало усиление гребня гавайского антициклона и его влияния на восточный сектор Арктики. Вследствие этого произошло ослабление циклонической деятельности и повышение фона давления от отрицательных аномалий к по-

ложительным. При воздушных потоках южных направлений сформировался температурный фон выше нормы на 2—4 °С.

В ***сентябре*** основной центр циркумполярного вихря сместился из приполюсного района в канадско-американский сектор Арктики, где в приземном поле отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность. Оси гребня, блокирующего западный перенос воздушных масс в толще тропосферы Северного полушария, располагались над Европой, Западной Сибирью и Канадой.

В *первом секторе* наиболее велика была повторяемость процессов восточной (*Е*) формы циркуляции. Число дней с этой формой циркуляции составило 18. Под влиянием блокирующих гребней над Евразией фон давления над акваторией Баренцева и Карского морей повысился до положительных аномалий со значениями 6—8 гПа. Циклоны с Северной Атлантики смещались по высокоширотным траекториям через приполюсный район в восточный сектор Арктики.

При устойчивых потоках с западной составляющей фон температуры повысился и во всех районах Арктики превысил норму. Наиболее крупные значения положительных аномалий среднемесячной температуры отмечались над Карским морем и составляли 6—8 °С.

Во *втором секторе* преобладали меридиональные процессы типа M_2. Под влиянием на Америку гребня гавайского антициклона циклоны в системе алеутского минимума смещались по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям в восточный сектор полярного района Арктики. Фон давления понизился до отрицательных аномалий. Воздушные потоки преимущественно юго-западных направлений обусловили адвекцию теплых воздушных масс и положительные аномалии температуры.

В ***октябре*** основной центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа располагался в районе Канады. Полярный район Арктики находился под влиянием высотных гребней азиатского и американского антициклонов, блокирующих выходы циклонов в полярный район.

В *первом секторе* отмечалась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов восточной формы циркуляции. Над континентальной частью Евразии располагался обширный антициклон, гребень которого был ориентирован в Арктику. Неглубокие циклоны в системе исландского минимума смещались в полярный район по высокоширотным траекториям. Фон давления в приатлантическом и в приполюсном районах был выше нормы. При воздушных потоках западных и юго-западных направлений сформировался фон температуры воздуха выше нормы на 5—8 °С.

Во *втором секторе* сохранилась аномально повышенная повторяемость крупномасштабных процессов типа M_2. Особенностью процессов данного месяца стало усиление антициклона над континентальной частью Америки и влияние его гребня на полярный район. Фон давления в данном секторе Арктики был выше нормы на 4—6 гПа. При воздушных потоках с южной составляющей преобладал фон температуры воздуха выше нормы на 3—7 °С.

В ***ноябре*** основной центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа сохранил свое положение в районе Канады. Отличием по сравнению с предыдущим месяцем стало усиление влияния высотного гребня антициклона над морями Карским и Лаптевых, где приземное поле формировалось под

преобладающим влиянием устойчивого антициклона. Над восточным сектором Арктики отмечалось ослабление влияния высотного гребня антициклона со стороны Америки.

В *первом секторе* сохранилась повышенная повторяемость процессов восточной формы циркуляции. Гребень континентального антициклона был ориентирован с Азии на западный сектор Арктики. Неглубокие циклоны с Северной Атлантики продолжали смещаться в полярный район по высокоширотным траекториям. Фон давления с положительными аномалиями сохранился. Максимальные аномалии давления со значениями до 10—12 гПа преобладали над акваторией Карского моря. Фон температуры во всех районах данного сектора Арктики был выше нормы. Наиболее высокие значения положительных аномалий температуры (до 12—14 °С) отмечались над северо-восточной частью Карского моря.

Во *втором секторе* произошла перестройка в направленности процессов от меридиональной циркуляции к зональной. Особенность перестройки процессов в данном секторе проявилась в усилении циклонической деятельности в системе алеутского минимума. Вследствие этого произошло понижение фона давления к отрицательным аномалиям. При воздушных потоках юго-восточных направлений сформировался температурный фон выше нормы на 6—8 °С.

В ***декабре*** ЦПВ на изобарической поверхности 500 гПа имел два центра — над Канадой и Западной Сибирью. Полярный район часто находился под влиянием высотных гребней с Северной Атлантики и Тихого океана. Вследствие этого основной западный воздушный поток в средней тропосфере был направлен в меридиональном направлении.

В *первом секторе* повторяемость процессов западной и меридиональных форм превысила норму на восемь и четыре дня соответственно. Циклоны с Северной Атлантики сериями смещались по высокоширотным траекториям в район Баренцева моря и далее в меридиональном направлении на континентальную часть Восточной Европы. Наиболее активная циклоническая деятельность отмечалась над европейской частью России. В западном секторе Арктики преобладал фон давления ниже нормы. Фон температуры воздуха выше нормы сформировался во всем секторе за исключением юго-западной части Карского моря. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры воздуха (до 8—10 °С) отмечались в районе Северной Земли.

Во *втором секторе* произошла перестройка в направленности процессов от зональной циркуляции к меридиональной. Аномально повышенную повторяемость имели крупномасштабные процессы типа M_2. Особенностью процессов данного месяца стало усиление антициклона над континентальной частью Америки. Циклоны в системе алеутского минимума смещались по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям. Фон давления в данном секторе Арктики был ниже нормы на 1—3 гПа. При воздушных потоках с южной составляющей фон температуры воздуха был выше нормы на 2—6 °С.

Проведенный анализ развития атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба показал, что характерный для текущей циркуляционной стадии высокий температурный фон с преобладанием положительных аномалий температуры воздуха в 2016 г. сохранился и в целом по полярному району превысил наблюдавшийся в 2012 г. экстремально высокий фон на 1,5 °С.

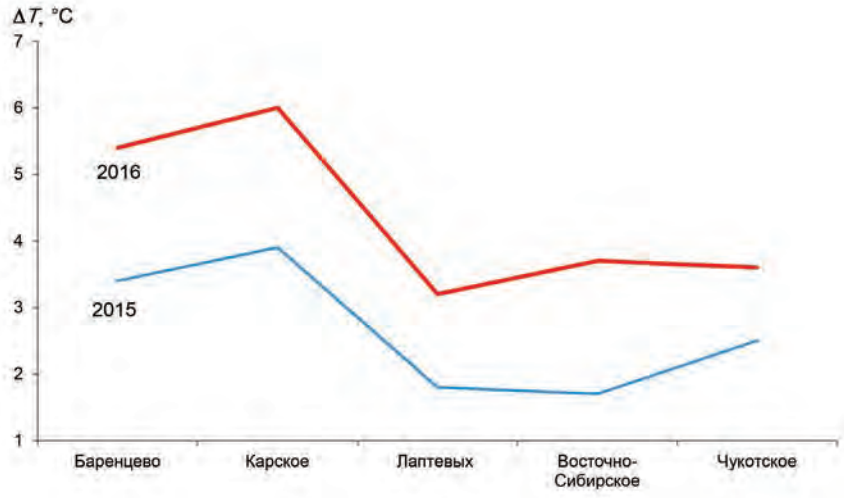


Рис. 1.1.11. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (°С) по акваторией арктических морей Евразии в 2016 и 2015 гг.

Над акваторией арктических морей положительный фон температуры воздуха также сохранился и повсюду превысил значения, наблюдавшиеся в предшествующий год. Изменения среднегодовых значений аномалий температуры воздуха в 2016 г. для акваторий морей российской Арктики по сравнению с данными за 2015 г. приводятся на рис. 1.1.11.

В 2016 г. наиболее высокие положительные аномалии температуры воздуха отмечались в районе западных морей — Баренцева и Карского.

По сравнению с предшествующим годом наиболее значительное повышение температурного фона наблюдалось над Баренцевым, Карским и Восточно-Сибирским морями (на 2 °С). Выше уже отмечалось, что в 2016 г. наиболее часто и устойчиво повышение температуры воздуха на 6—10 °С выше многолетней нормы наблюдалось в данных районах во все месяцы холодного периода года за исключением декабря, когда среднемесячная аномалия в юго-западной части Карского моря составила –5,6 °С.

Анализ структурных особенностей циркуляции атмосферы внутри каждого месяца в 2016 г. проводился по естественным стадиям однонаправленного развития 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 всех месяцев 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 2016 г. представлены в табл. 1.1.2.

Таблица 1.1.2

Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма — Гирса с января по декабрь 2016 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—3	*E*	M_2	1—5	*W*	M_2	1—4	*E*	M_2
4—6	*E*	M_2	6—9	*W*	M_2	5—8	*E*	З
7—10	*E*	M_2	10—12	*W*	M_2	9—11	*E*	M_2
11—14	*E*	M_2	13—14	*E*	M_2	12—15	*W*	З
15—17	*C*	З	15—16	*C*	З	16—23	*C*	M_2
18—20	*C*	M_2	17—22	*E*	M_2	24—25	*W*	M_1
21—25	*E*	M_2	23—26	*C*	M_2	26—29	*E*	M_1
26—29	*W*	M_2	27—29	*E*	M_2	30—31	*E*	M_1
30—31	*W*	З						
Итого	*W* 6 (–6)	З 5 (–3)	Итого	*W* 12 (3)	З 2 (–4)	Итого	*W* 6 (–4)	З 8 (–2)
	C 6 (0)	M_1 0 (–6)		*C* 6 (0)	M_1 0 (–4)		*C* 8 (0)	M_1 8 (2)
	E 19 (6)	M_2 26 (9)		*E* 11 (–2)	M_2 27 (9)		*E* 17(4)	M_2 15 (0)
Апрель			*Май*			*Июнь*		
ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А
1—3	*C*	M_1	1	*E*	M_2	1—3	*C*	M_2
4—6	*E*	M_1	2—4	*E*	M_2	4—10	*C*	M_1
7—9	*W*	M_1	5—7	*E*	M_1	11—14	*E*	M_2
10—14	*C*	M_1	8—10	E	M_1	15—17	E	M_1
15—17	*W*	З	11—16	*W*	M_2	18—19	*C*	M_2
18—20	*W*	M_2	14—16	*C*	M_2	20—26	*E*	M_1
21—23	*C*	M_2	17—19	*E*	M_1	27—30	*E*	M_2
24—25	*C*	M_1	20—22	*E*	M_1			
26—27	*E*	M_1	23—24	*E*	M_1			
28—30	*E*	M_1	25—27	*W*	M_1			
			28—31	*E*	M_1			
Итого	*W* 9 (–1)	З 3 (–6)	Итого	*W* 6 (–3)	З 0 (–11)	Итого	*W* 0 (10)	З 0 (–8)
	C 13 (2)	M_1 20 (12)		*C* 3 (–7)	M_1 21 (12)		*C* 12 (1)	M_1 17 (1)
	E 8 (–1)	M_2 7 (–6)		*E* 22 (10)	M_2 10 (–1)		*E* 18 (9)	M_2 13 (7)
Июль			*Август*			*Сентябрь*		
ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А
1—4	*E*	M_1	1—7	*W*	M_1	1—4	*E*	M_1
5—8	*W*	M_1	8—10	*C*	M_1	5—7	*W*	З
9—12	*W*	M_1	11—13	*W*	M_2	8—10	*C*	M_1
13—15	*C*	M_2	14—17	*E*	M_2	11—13	*E*	M_2
16—17	*W*	M_2	18—22	*E*	З	14—16	*C*	З
18—20	*C*	M_1	23—26	*E*	M_2	17—19	*E*	M_2
21—24	*E*	З	27—31	*W*	M_2	20—22	*E*	M_1
25—27	*W*	M_2				23—25	*E*	M_2
28—31	*E*	M_1				26—27	*E*	M_2
						28—30	*W*	З
Итого	*W* 13 (3)	З 4 (–6)	Итого	*W* 18 (3)	З 5 (–9)	Итого	*W* 6 (–7)	З 9 (–6)
	C 6 (–5)	M_1 19 (1)		*C* 3 (–4)	M_1 10 (–3)		*C* 6 (–2)	M_1 10 (1)
	E 12 (2)	M_2 8 (5)		*E* 13 (1)	M_2 16 (12)		*E* 18 (9)	M_2 11 (5)

Окончание табл. 1.1.2

Октябрь			*Ноябрь*			*Декабрь*		
ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А
1	*W*	$М_1$	1—3	*C*	З	1—2	*C*	$М_2$
2—4	*C*	$М_1$	4—6	*E*	З	3—4	*E*	$М_1$
5—17	*E*	$М_2$	7—8	*E*	$М_2$	5—6	*C*	$М_2$
18—25	*E*	З	9—11	*E*	З	7—9	*W*	$М_2$
26—28	*E*	$М_2$	12—13	*E*	З	10—12	*C*	$М_2$
29—31	*W*	$М_2$	14—18	*W*	З	13—14	*W*	$М_2$
			19—20	*E*	$М_2$	15—16	*E*	$М_2$
			21—23	*E*	$М_1$	17—19	*W*	$М_2$
			24—26	*W*	$М_1$	20—22	*W*	З
			27—30	*C*	$М_2$	23—26	*W*	$М_2$
						27—28	*C*	З
						29—31	*W*	З
Итого	*W* 4 (–8)	З 8 (–8)	Итого	*W* 8 (–3)	З 16 (4)	Итого	*W* 18 (8)	З 8 (–2)
	C 3 (–4)	$М_1$ 4 (–1)		*C* 7 (1)	$М_1$ 6 (3)		*C* 9 (4)	$М_1$ 2 (–1)
	E 24 (12)	$М_2$ 19 (9)		*E* 15 (2)	$М_2$ 8 (–7)		*E* 4 (–12)	$М_2$ 21 (3)

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 (З, $М_1$, $М_2$) 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 арктическим морям (рис. 1.2.1). Исходными данными послужили результаты наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступающие с дрейфующих буев МПАБ.

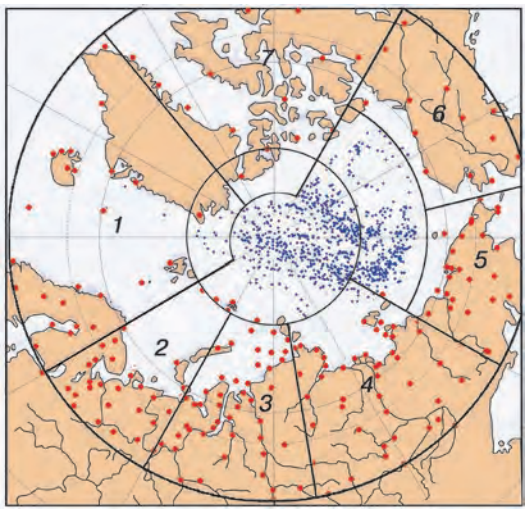


Рис. 1.2.1. Сеть метеорологических станций и границы районов Северной полярной области.

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

Температура воздуха

Основным методом получения пространственно осредненных по территории Северной полярной области и территориям климатических районов аномалий температуры воздуха является метод оптимального осреднения. Оценки аномалий по-

Таблица 1.2.1

Аномалии Δ*T* (отклонения от нормы за 1961—1990 гг.) температуры воздуха в 2016 г. на территории СПО и отдельных широтных зон в среднем за год и за сезоны 2016 г.

φ° с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ*T*, °C	*R*	Δ*T*, °C	*R*	Δ*T*, °C	*R*	Δ*T*, °C	*R*	Δ*T*, °C	*R*
70—85	3,9	1	4,8	1	3,7	2	1,9	2	5,1	1
60—70	2,7	1	3,7	1	3,2	1	2,0	1	2,0	3
60—85	3,3	1	4,2	1	3,5	1	2,0	1	3,6	1

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2016 гг.

лучены относительно рекомендованного ВМО стандартного периода 1961—1990 гг. В качестве сезонов 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 2016 г. по отдельным широтным зонам (60—85, 60—70 и 70—85° с.ш.) представлена в табл. 1.2.1.

Значение пространственно осредненной аномалии среднегодовой температуры воздуха СПО составило 3,3 °С, и 2016 г. стал наиболее теплым годом по рангу теплых лет за период с 1936 г. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70—85° с.ш. оказалась равной 3,9 °С, а в зоне 60—70° с.ш. — 2,7 °С. Эти значения стали также первыми по рангу теплых лет.

В 2016 г. на территории отдельных широтных зон области наиболее крупных аномалий температуры воздуха были отмечены к северу от параллели 70° с.ш. в зимнем и осеннем сезонах. Для широтной зоны 70—85° с.ш. зимой аномалия составила 4,8 °С, а осенью 5,1 °С. Это соответствует первому значению по рангу теплых лет в обоих сезонах.

К югу от параллели 70° с.ш. крупные аномалии температуры воздуха имели место в зимнем и весеннем сезонах. В зимнем сезоне для широтной зоны 60—70° с.ш. пространственно осредненная аномалия составила 3,7 °С, в весеннем — 3,2 °С. Таким образом, оба сезона оказались наиболее теплыми с 1936 г.

Пространственное распределение аномалий средней сезонной температуры воздуха на 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 параллели 70° с.ш. — в табл. 1.2.3.

В 2016 г. году 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 осредненных по территории районов аномалий составили 5,0 и 3,7 °С соответственно.

В ***зимнем сезоне*** основной очаг положительных аномалий температуры воздуха располагался над территорией Западно-Сибирского района (рис. 1.2.2). Значение пространственно осредненной по территории района аномалии составило 7,6 °С и оказалось первым значением в ряду убывающих температур. Другой очаг крупных положительных аномалий наблюдался в Аляскинском районе (5,5 °С), но здесь прошедшая зима стала только второй теплой зимой с 1936 г.

На метеорологических станциях в районах арктических морей крупные положительные аномалии наблюдались в северной части Баренцева и Карского морей. Здесь аномалии температуры воздуха достигали 9—13 °С. В целом по району Карского моря пространственно осредненная аномалия составила 9,1 °С и оказалась третьей по рангу теплых лет с 1936 г. (наиболее теплой — с аномалией 9,8 °С — была зима в 1945 г.).

В ***весеннем сезоне*** основная область крупных положительных аномалий температуры воздуха располагалась в западной части евразийского сектора, а также на западе североамериканского сектора. Значения пространственно осредненных

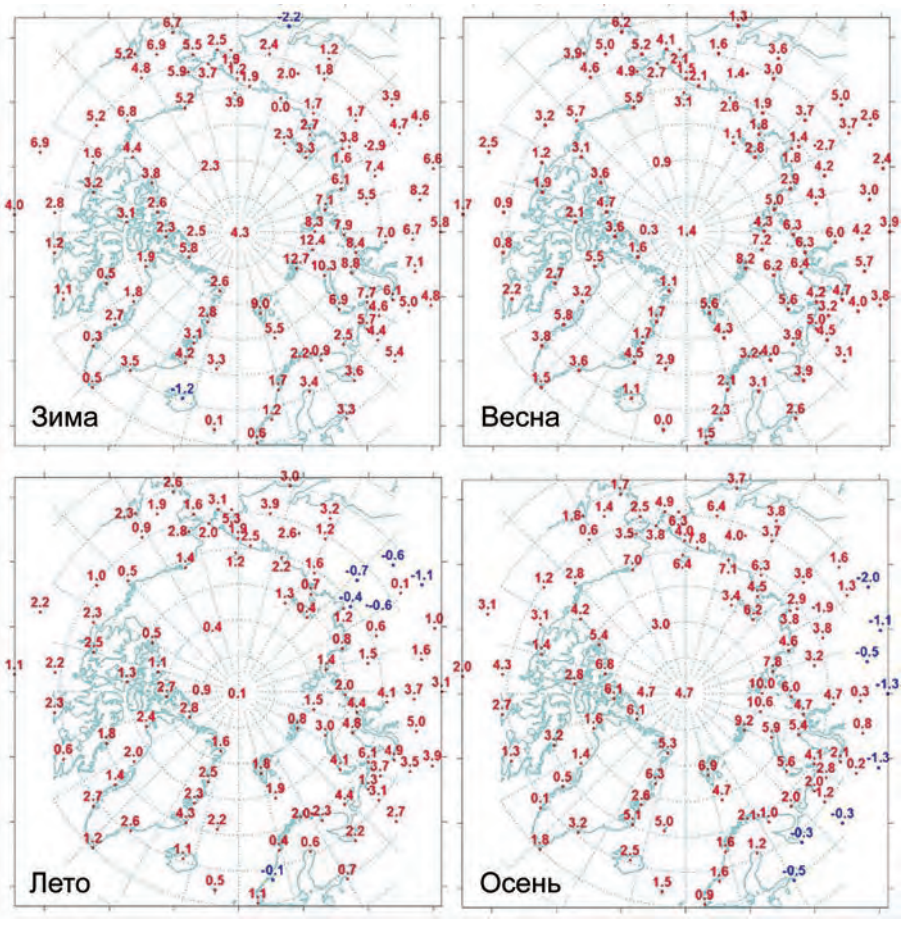


Рис. 1.2.2. Значения аномалий средних сезонных значений температуры воздуха (°С) на станциях Северной полярной области.

Таблица 1.2.2

Аномалии Δ*T* (отклонение от нормы за 1961—1990 гг.) температуры воздуха в 2016 г. для отдельных районов СПО в среднем за год и сезоны

Район	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ*T*, °С	*R*	Δ*T*, °С	*R*	Δ*T*, °С	*R*	Δ*T*, °С	*R*	Δ*T*, °С	*R*
Атлантический	2,6	1	2,6	7	2,4	2	1,7	2	3,5	1
Североевропейский	3,4	1	4,7	8	4,2	1	2,3	2	2,3	7
Западно-Сибирский	5,0	1	7,6	1	5,2	3	3,6	1	3,7	3
Восточно-Сибирский	2,8	2	4,6	1	3,2	6	0,4	13	2,8	7
Чукотский	2,9	1	1,8	12	2,3	11	2,4	2	5,1	2
Аляскинский	3,7	1	5,5	2	4,8	1	1,5	4	3,1	5
Канадский	2,5	3	2,8	7	2,4	7	1,8	3	2,9	6

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2016 гг.

Таблица 1.2.3

Аномалии Δ*T* (отклонение от нормы за 1961—1990 гг.) температуры воздуха в 2016 г. для районов севернее 70° с.ш. в среднем за год и сезоны

Море, часть климатического района	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	Δ*T*, °C	*R*	Δ*T*, °C	*R*	Δ*T*, °C	*R*	Δ*T*, °C	*R*	Δ*T*, °C	*R*
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	3,8	1	4,4	5	3,1	3	2,4	1	5,1	1
Баренцево море	4,5	1	5,9	5	5,0	1	2,6	2	4,6	1
Карское море	6,2	2	9,1	3	5,8	3	3,1	1	6,7	1
Море Лаптевых	3,4	2	4,2	4	2,9	7	0,9	12	5,4	1
Восточно-Сибирское море	2,7	4	2,0	11	2,0	11	1,5	5	5,3	1
Чукотское море	2,8	4	2,9	9	2,0	15	1,7	4	4,7	2
Море Бофорта	3,8	4	5,1	2	4,5	2	0,8	15	4,8	1
Северная часть Канадского района	2,8	3	2,7	10	2,8	7	1,8	4	3,8	2

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2016 гг.

аномалий температуры в Североевропейском, Западно-Сибирском и Аляскинском районах составили 4,2; 5,2 и 4,8 °С соответственно. Прошедшая весна оказалась наиболее теплой в Североевропейском и Аляскинском районах и третьей по рангу теплых лет в Западно-Сибирском районе.

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

В ***летнем сезоне*** основная область крупных положительных аномалий температуры воздуха располагалась в азиатском секторе. Аномалия температуры воздуха в Западно-Сибирском районе составила 3,6 °С, и это лето оказалось наиболее теплым по рангу теплых лет с 1936 г. В южной части Восточно-Сибирского района наблюдались небольшие отрицательные аномалии температуры воздуха.

На акватории арктических морей и на территории суши выше 70° с.ш. наиболее крупные положительные аномалии температуры воздуха обнаруживались над акваторией северной части Гренландского и Норвежского морей, а также Баренцева и Карского морей. В районе Карского моря осредненная аномалия составила 3,1 °С.

В ***осеннем сезоне*** на станциях СПО наиболее крупные аномалии температуры воздуха были отмечены в восточной части евразийского сектора. Пространственно осредненные по территориям Западно-Сибирского и Чукотского районов аномалии температуры воздуха составили 3,7 и 5,1 °С, и осень в этих районах оказалась соответственно третьей и второй по рангу теплых лет.

На акватории арктических морей наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха наблюдались над северной частью Карского моря. Пространственно осредненная аномалия температуры по району моря составила 6,7 °С. Осень 2016 г. в районе моря стала первой по рангу теплых лет с 1936 г.

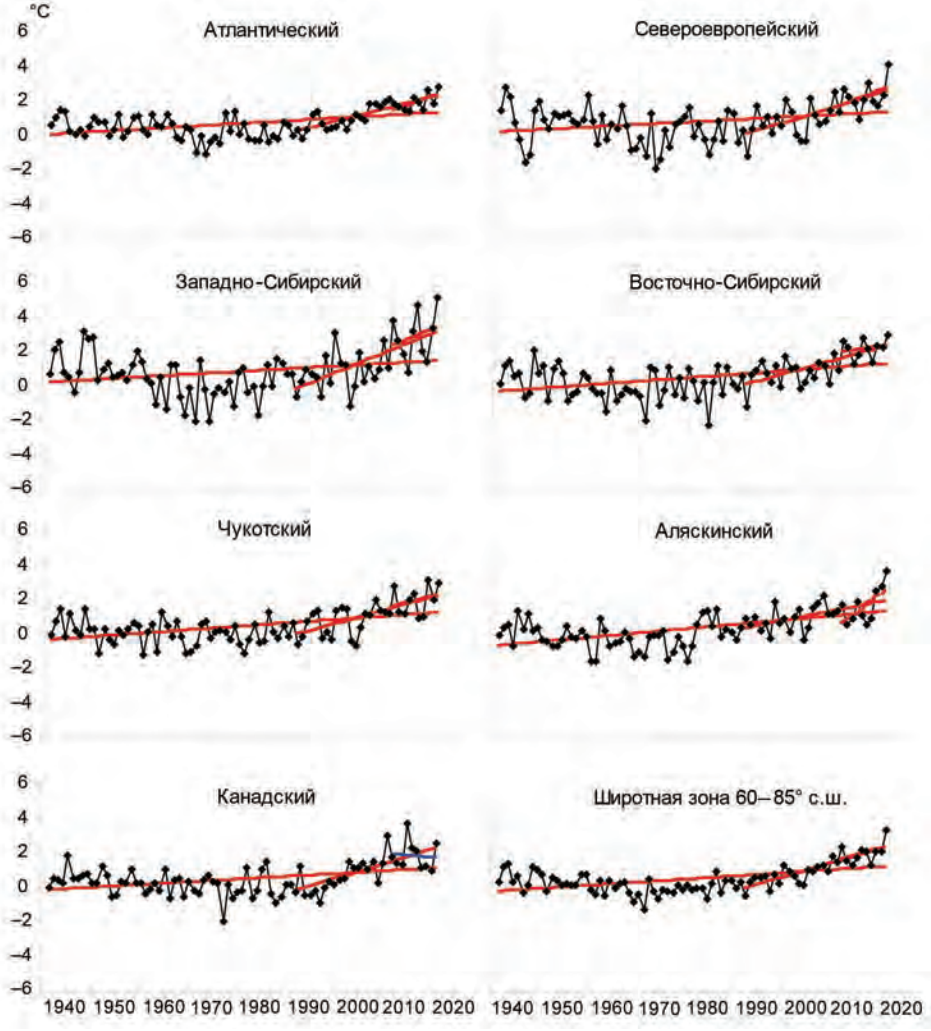


Рис. 1.2.3. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60—85° с.ш.

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.

Оценка линейного тренда приведена в табл. 1.2.4 и 1.2.5. В течение 1936—2016 гг. наблюдается статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры для широтных зон 60—70 и 70—85° с.ш. и в целом для СПО. Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 81 год составило 1,38, 1,46 и 1,38 °С соответственно. Значимый тренд среднегодовой температуры воздуха прослеживается для всех климатических районов, кроме Западно-Сибирского. Потепление за 81 год составляет в отдельных районах от 1,13 до 2,02 °С.

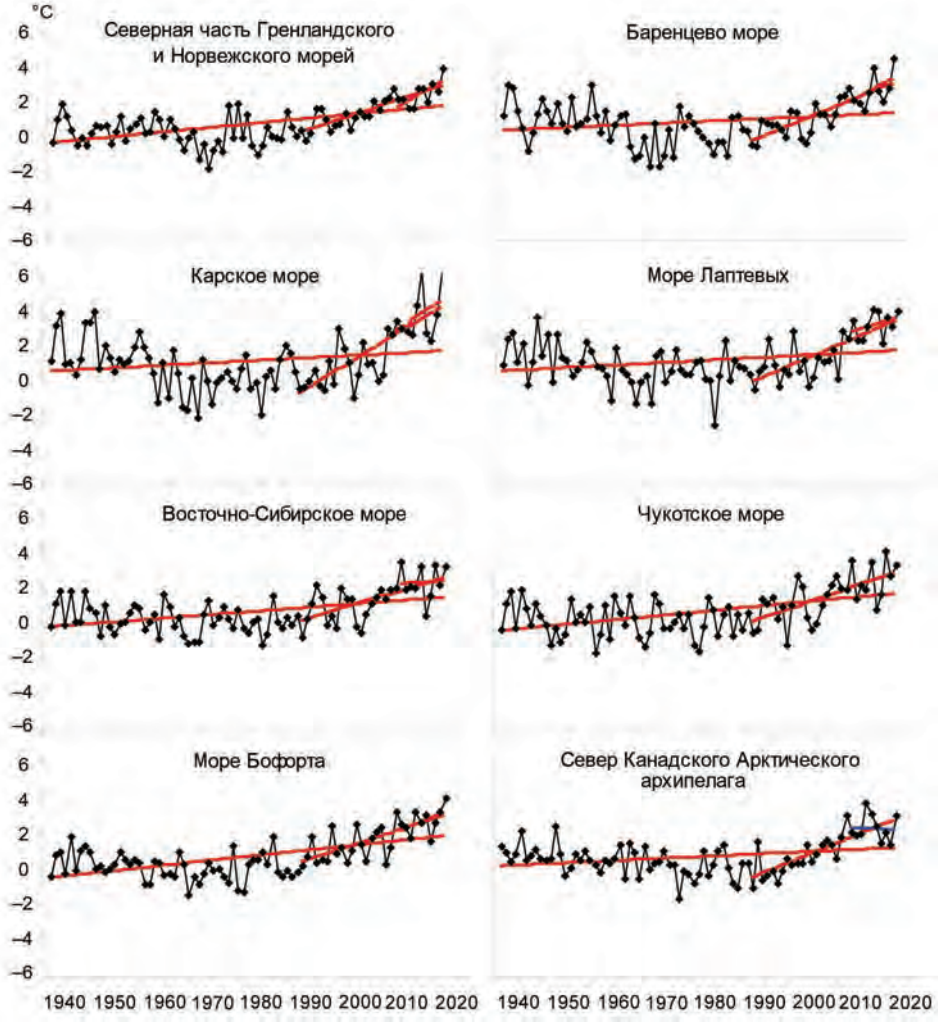


Рис. 1.2.4. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей.

В средней сезонной температуре воздуха СПО значимый тренд обнаруживается во всех сезонах. В отдельных широтных зонах значения линейного тренда в весеннем, летнем и осеннем сезонах близки друг к другу. Наиболее существенное линейное повышение температуры наблюдается в широтной зоне 70—85 °с.ш. в весеннем сезоне: около 2,0 °С за 81 год.

В течение последних тридцати лет (1987—2016 гг.) температура воздуха повышалась во всех регионах СПО. В целом для СПО линейное повышение среднегодовой температуры воздуха за 30 лет составило около 2,4 °С. В широтной зоне к северу от параллели 70° с.ш. продолжает сохраняться более высокая скорость потепления (1,1 °С/10 лет по сравнению с 0,55 °С/10 лет к югу от параллели 70° с.ш.). В основном это происходит за счет более быстрого повышения температуры воз-

Таблица 1.2.4

Коэффициент линейного тренда *Bx* (°С/10 лет) средней за год температуры воздуха и вклад *D* (%) тренда в полную дисперсию для отдельных районов за весь период наблюдений и за последние 30 и 10 лет

Район, широтная зона	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	Bx	*D*	*Bx*	*D*	*Bx*	*D*	*Bx*	*D*	*Bx*	*D*
	1936—2016 гг.									
Атлантический	**0,20**	34,8	**0,16**	41,3	**0,12**	44,5	**0,10**	27,4	**0,15**	39,1
Североевропейский	0,09	8,7	**0,30**	43,7	**0,09**	23,7	0,08	14,7	**0,14**	25,1
Западно-Сибирский	0,06	4,9	**0,32**	35,5	**0,12**	30,9	0,09	11,2	0,15	20,2
Восточно-Сибирский	**0,22**	27,4	**0,31**	41,1	**0,12**	34,6	0,13	19,5	**0,20**	39,9
Чукотский	0,10	14,0	**0,25**	37,0	**0,19**	54,5	**0,26**	39,8	**0,20**	46,1
Аляскинский	**0,40**	43,6	**0,26**	33,4	**0,17**	50,8	**0,17**	25,3	**0,25**	52,1
Канадский	**0,23**	29,9	0,07	13,9	**0,12**	40,2	**0,20**	38,7	**0,16**	36,7
70—85°с.ш.	**0,16**	26,4	**0,25**	47,6	**0,13**	51,8	**0,16**	30,9	**0,18**	38,9
60—70°с.ш.	**0,20**	38,6	**0,22**	50,3	**0,13**	57,0	**0,12**	32,8	**0,17**	52,2
60—85°с.ш.	**0,18**	37,3	**0,23**	50,6	**0,13**	56,4	**0,14**	34,7	**0,17**	47,5
	1987—2016 гг.									
Атлантический	**1,09**	73,9	**0,62**	61,8	**0,50**	72,5	**0,68**	78,0	**0,72**	82,3
Североевропейский	**1,22**	45,6	**0,72**	42,6	**0,39**	41,4	**1,07**	62,9	**0,85**	65,3
Западно-Сибирский	**1,46**	47,2	**1,13**	47,0	**0,51**	46,9	**1,35**	57,8	**1,11**	60,1
Восточно-Сибирский	0,37	19,0	**1,02**	51,4	**0,53**	51,9	**1,06**	62,3	**0,75**	65,5
Чукотский	**0,89**	46,3	0,58	32,9	**0,44**	48,1	**1,21**	65,1	**0,78**	62,6
Аляскинский	**0,85**	40,2	0,05	3,1	**0,06**	7,2	**1,16**	63,4	**0,53**	44,3
Канадский	**1,35**	67,4	**0,62**	39,4	**0,51**	62,2	**0,91**	67,6	**0,85**	69,8
70—85°с.ш.	**1,58**	83,7	**0,87**	66,4	**0,48**	71,3	**1,52**	91,3	**1,11**	89,7
60—70°с.ш.	**0,61**	47,6	**0,51**	47,1	**0,36**	60,3	**0,71**	71,3	**0,55**	71,1
60—85°с.ш.	**1,04**	75,1	**0,64**	57,4	**0,43**	69,5	**1,06**	86,4	**0,79**	82,3
	2007—2016 гг.									
Атлантический	0,80	37,5	0,73	38,4	0,25	23,0	1,93	72,7	0,93	19,4
Североевропейский	0,16	2,2	2,01	38,7	0,90	30,0	–0,21	8,2	0,72	20,3
Западно-Сибирский	2,61	26,3	3,06	45,7	2,32	58,1	–1,28	33,2	1,68	29,1
Восточно-Сибирский	1,34	22,9	0,99	19,5	–0,18	10,0	0,01	2,6	0,54	38,4
Чукотский	1,82	33,5	–0,67	17,5	0,35	12,2	1,29	25,0	0,70	19,1
Аляскинский	**3,68**	63,1	4,02	65,3	0,62	28,9	1,78	45,6	**2,53**	68,1
Канадский	–0,95	17,6	0,32	07,8	–0,30	16,0	–0,91	18,4	–0,46	45,2
70—85°с.ш.	1,17	40,2	1,39	45,4	0,12	8,3	1,42	47,7	1,03	22,3
60—70°с.ш.	1,41	34,2	1,70	51,0	0,64	45,6	0,38	27,4	1,03	52,9
60—85°с.ш.	1,34	42,3	1,69	50,1	0,75	57,8	0,91	47,8	1,17	56,9

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

Таблица 1.2.5

Коэффициент линейного тренда *Bx* (°С/10 лет) средней за год температуры воздуха и вклад *D* (%) тренда в полную дисперсию для районов арктических морей за весь период наблюдений и за последние 30 и 10 лет

Море, часть моря	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	Bx	*D*	*Bx*	*D*	*Bx*	*D*	*Bx*	*D*	*Bx*	*D*
	1936—2016 гг.									
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	**0,28**	32,3	**0,25**	46,6	**0,19**	61,6	**0,17**	30,8	0,22	45,1
Баренцево море	0,03	3,2	**0,25**	37,0	**0,09**	25,9	0,10	17,5	0,12	17,7
Карское море	0,01	1,1	**0,33**	34,3	**0,09**	23,9	0,13	13,6	0,14	14,0
Море Лаптевых	0,06	8,0	**0,25**	32,9	**0,11**	27,9	0,11	13,7	0,13	22,0
Восточно-Сибирское море	**0,17**	27,3	**0,25**	35,0	**0,17**	44,1	**0,24**	32,9	0,21	44,5
Чукотское море	**0,26**	29,3	**0,27**	33,1	**0,19**	49,6	**0,26**	39,5	0,25	46,6
Море Бофорта	**0,43**	51,2	**0,21**	36,2	**0,15**	44,0	**0,26**	39,3	0,26	53,6
Северная часть Канадского района	0,15	18,3	0,07	11,5	**0,07**	20,7	**0,19**	35,4	0,12	25,8
	1987—2016 гг.									
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	**1,78**	74,1	**0,68**	50,6	**0,55**	75,2	1,02	74,2	1,01	82,8
Баренцево море	**1,79**	68,4	**0,97**	54,0	**0,45**	46,2	1,42	78,8	1,16	79,9
Карское море	**2,46**	64,8	**1,46**	55,1	**0,61**	62,0	2,25	75,7	1,70	75,0
Море Лаптевых	**1,00**	48,7	**1,09**	52,8	**0,55**	50,0	1,87	81,7	1,13	73,2
Восточно-Сибирское море	**0,86**	54,7	**0,66**	36,0	**0,46**	45,0	1,38	65,9	0,84	66,9
Чукотское море	**1,47**	62,7	0,34	17,1	**0,39**	38,3	1,37	70,0	0,89	62,1
Море Бофорта	**1,16**	57,1	0,26	16,8	0,19	20,7	1,70	81,3	0,83	63,8
Северная часть Канадского района	**1,77**	77,8	**0,86**	53,4	**0,57**	51,6	1,07	71,4	1,07	77,8
	2007—2016 гг.									
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,62	44,7	1,30	52,5	0,53	42,1	**3,01**	78,0	1,62	25,1
Баренцево море	0,88	14,8	2,77	53,6	1,42	44,2	1,50	42,5	1,64	25,9
Карское море	2,44	27,2	2,59	35,9	1,86	51,8	0,48	09,1	1,84	21,6
Море Лаптевых	1,73	36,1	0,44	08,7	–0,23	10,4	1,35	50,5	0,82	33,2
Восточно-Сибирское море	0,74	21,2	–0,68	17,9	–0,73	24,5	0,89	22,7	0,06	3,0
Чукотское море	1,62	27,3	0,45	11,1	–0,44	12,3	2,28	51,6	0,98	17,0
Море Бофорта	0,87	22,0	3,52	68,8	–1,24	50,1	0,93	26,4	1,02	74,9
Северная часть Канадского района	–0,61	11,1	0,42	12,3	–1,02	31,6	0,76	22,6	–0,11	37,3

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

духа в зимнем и осеннем сезонах к северу от параллели 70° с.ш.: 1,58 и 1,52 °С/10 лет соответственно.

За последнее десятилетие в СПО наиболее заметное повышение температуры воздуха наблюдалось в весеннем сезоне.

В районах арктических морей в период 1936—2016 гг. повсюду знак тренда среднегодовой температуры воздуха положительный. Наиболее высокими темпами повышение температуры происходит в районах приатлантического и притихоокеанского секторов. Линейное повышение среднегодовой температуры воздуха над северной частью акватории Гренландского и Норвежского морей и в районах морей Чукотского и Бофорта составило около 1,8; 2,0 и 2,1 °С за 81 год.

За последний 30-летний период статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) линейный тренд среднегодовой температуры воздуха прослеживается над акваторией всех арктических морей; потепление за последние тридцать лет составило от 2,4 °С (море Бофорта) до 5,1 °С (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 — с июня по сентябрь.

В табл. 1.2.6 представлены относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2015/16 г. для СПО и для отдельных климатических районов. В целом по региону годовая сумма осадков была выше нормы (на 3,0 %) — главным образом, за счет более влажных холодного периода в обеих широтных зонах и теплого периода к югу от параллели 70° с.ш. При этом самое большое количество осадков выпало в Североевропейском районе (на 17,6 % выше нормы) вследствие более влажного теплого периода (на 26,1 % выше нормы), а менее всего — в Чукотском районе (на 12,2 % ниже нормы).

На рис. 1.2.5 приведены временные ряды годовых сумм осадков для районов арктических морей.

В табл. 1.2.7 представлены оценки трендов сезонных и годовых сумм осадков с 1936 по 2016 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—2016 гг. в СПО наблюдается сохранение тенденции статистически значимого их увеличе-

Таблица 1.2.6

Относительные аномалии (%) сезонных и годовых сумм осадков в 2015/16 г.

Климатический район, широтная зона	Холодный период	Теплый период	Год
Атлантический	114,2	94,2	108,0
Североевропейский	111,1	126,1	117,6
Западно-Сибирский	102,7	84,7	94,1
Восточно-Сибирский	96,9	84,2	90,1
Чукотский	91,6	83,0	87,8
Аляскинский	94,9	107,2	101,5
Канадский	95,6	117,0	106,7
70—85° с.ш.	110,1	99,3	105,2
60—70° с.ш.	108,5	101,7	105,6
60—85° с.ш.	105,7	99,3	103,0

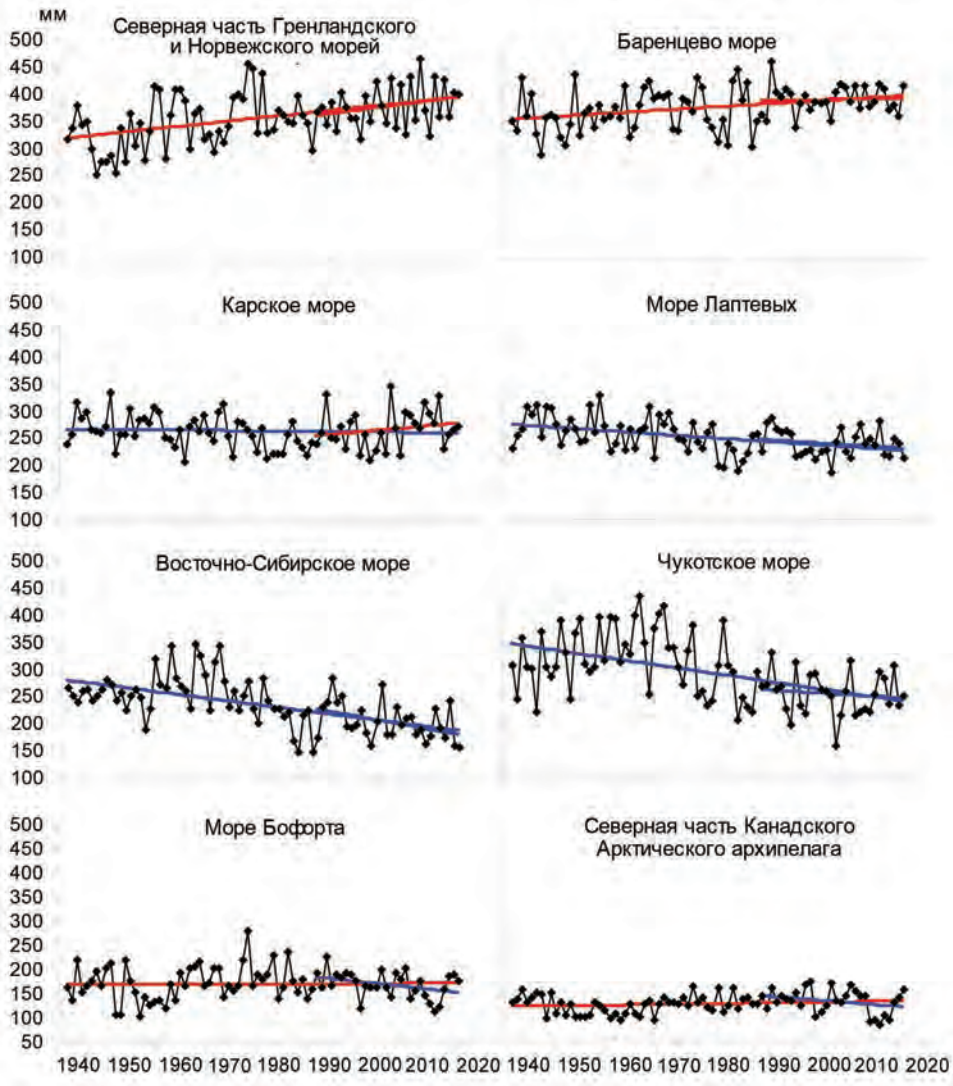


Рис.1.2.5. Временные ряды годовых сумм осадков.

ния. Годовые суммы осадков за 81 год возросли на 5,5 % по сравнению с нормой за 1961—1990 гг. Однако это обеспечено, прежде всего, их устойчивым увеличением в широтной зоне к югу от параллели 70° с.ш. (на 8,5 % от нормы). Здесь, в южных частях Атлантического, Североевропейского, 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 тенденция к уменьшению годовых сумм осадков сохраняется над акваторией морей азиатского сектора СПО (Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского). Уменьшение годовых сумм осадков за весь период составляет от 3 % (район Карского моря) до 39 % (район Восточно-Сибирского моря) нормы за 1961—1990 гг.

Таблица 1.2.7

Коэффициент линейного тренда *Bx* (мм/10 лет) сезонных и годовых сумм осадков за период 1936—2016 гг. и изменение (%) сумм осадков в долях от нормы за 1961—1990 гг.

Район, широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	Bx	*%*	*Bx*	*%*	*Bx*	*%*
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	7,79	7,4	–0,74	–1,6	7,05	5,1
Североевропейский (южная часть)	**14,89**	39,7	**3,36**	11,1	**18,25**	25,8
Западно-Сибирский (южная часть)	**9,02**	27,1	–2,24	–7,3	**6,78**	8,8
Восточно-Сибирский (южная часть)	**2,43**	13,2	0,07	0,3	**2,5**	5,7
Чукотский (южная часть)	–0,77	–2,8	–0,51	–2,5	–1,28	–3,2
Аляскинский (южная часть)	2,86	13,6	–0,08	–0,3	2,78	3,6
Канадский (южная часть)	–0,18	–1,1	**3,17**	17,3	**2,99**	8,9
60—70°с.ш.	**5,37**	14,5	0,48	1,8	**5,85**	8,5
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	**9,00**	31,0	0,39	2,6	**9,39**	21,2
Баренцево море	**6,27**	22,4	–0,61	–3,2	**5,66**	11,5
Карское море	0,14	,8	–0,98	–6,4	–0,84	–2,6
Море Лаптевых	**–3,12**	–20,8	**–3,02**	–19,3	**–6,14**	–19,6
Восточно-Сибирское море	**–7,13**	–46,2	**–5,04**	–34,9	**–12,17**	–38,8
Чукотское море	**–9,41**	–43,5	**–4,12**	–25,7	**–13,53**	–35,2
Море Бофорта	–0,93	–7,7	1,07	9,8	0,14	0,2
Канадский (северная часть)	0,53	7,2	0,65	7,9	1,18	9,0
70—85°с.ш.	**1,27**	7,4	–0,85	–6,1	0,42	0,9
Атлантический	**8,39**	10,6	–0,36	–1,0	**8,03**	7,4
Североевропейский	**11,41**	33,8	1,87	7,2	**13,28**	21,3
Западно-Сибирский	**5,28**	20,2	–1,71	–7,1	3,57	5,7
Восточно-Сибирский	0,31	1,8	–1,11	–5,8	–0,8	–2,4
Чукотский	**–3,50**	–14,9	–2,54	–13,7	–6,04	–14,3
Аляскинский	1,72	9,3	–1,09	–5,1	0,63	0,3
Канадский	0,10	0,7	**2,23**	15,4	**2,33**	9,0
60—85°с.ш.	**3,45**	11,4	–0,35	–1,5	**3,1**	5,5

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

Относительно распределения в годовой сумме доли осадков теплого и холодного периода можно отметить следующее. Увеличение годовых сумм осадков в СПО полностью обеспечивается за счет холодного периода. 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 параллели 70 °с.ш. — только 7 %). На всей же территории СПО осадки в холодный период года уменьшились лишь в Чукотском районе (на 15 %).

В теплый сезон количество осадков в СПО за период 1936—2016 гг. уменьшилось в целом по региону на 1,5 %. Наибольшее их уменьшение отмечалось в широтной зоне к северу от параллели 70 °с.ш. (на 6,1 % нормы). Статистически значимое увеличение количества осадков обнаруживается только в Канадском районе (на 15 % 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 2016 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, данным экспедиционных исследований в высокоширотных рейсах на судах и ледоколах, проводимых 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 2016 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

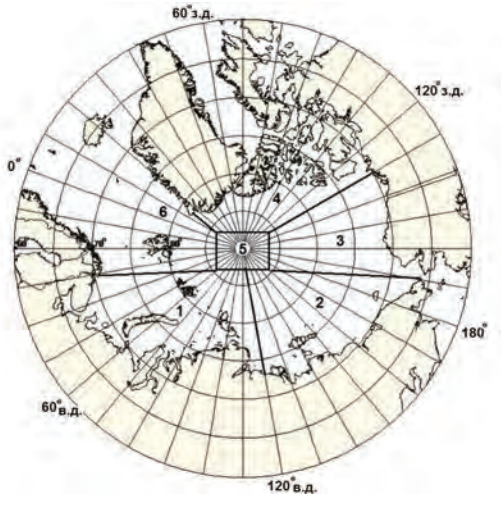


Рис. 2.В.1. Квазиоднородные районы Северного Ледовитого океана.

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

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, а также Девисова пролива и проливов Канадского Арктического архипелага, 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.

В.П. Карклин, А.В. Юлин

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

В осенний период предшествующего 2015 г. ледообразование среди остаточных льдов в Арктическом бассейне началось в середине сентября, что на полмесяца позднее средних многолетних сроков. Тем не менее оно характеризовалось большой интенсивностью. Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины сентября по середину октября, составило около 2,5 млн км^2, что на 0,5 млн км^2 больше среднего многолетнего значения.

На северных границах всех арктических морей (от Баренцева до Бофорта) молодые льды стали наблюдались уже в начале октября.

Непосредственно в центральных арктических морях России ледообразование началось позднее нормы на 5—15 суток. Однако особенно поздно ледообразование началось в юго-западной части Карского моря и юго-восточной части Чукотского — в первой декаде января 2016 г. и первой декаде декабря 2015 г. соответственно.

В результате позднего начала осенних ледовых процессов в конце декабря 2015 г. большие участки акватории Баренцева моря и юго-западной части Карского моря оставались свободными от льдов. В северных частях Баренцева и Карского морей наблюдалось большое количество молодых льдов. В остальных морях российского сектора Арктики и в море Бофорта преобладали молодые и однолетние тонкие льды. Небольшое количество остаточных льдов сохранилось в северной части Восточно-Сибирского моря в виде вытянутого языка в северной части моря. Основная масса старых льдов в СЛО была смещена в приполюсный район, в гренландский и канадский секторы Арктики.

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в конце декабря 2015 г. составила 11,01 млн км^2 при норме 11,66 млн км^2, т.е. была на 5,6 % меньше средних многолетних значений.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период январь — март 2016 г. приведены рис. 2.1.1—2.1.9.

На рис. 2.1.1 приведено распределение льда по возрасту на середину января.

Позднее начало ледообразования в осенний период отчасти компенсировалось большой интенсивностью нарастания льда в осенне-зимний период. Темпы увеличения толщины льда приблизились к средним многолетним значениям во всех арктических морях, кроме Баренцева и Карского. В январе на акватории всех арктических морей, начиная от северо-восточной части Карского моря и далее на восток, уже преобладали однолетние средние льды (диапазон толщины 70—120 см). Только в западных окраинных морях российского сектора Арктики (Баренцевом и Карском) наблюдалось преобладание однолетних тонких и молодых льдов. На северных границах морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского появились однолетние толстые льды. Небольшой отрог двухлетних льдов наблюдался у северной границы Восточно-Сибирского моря. Двухлетние льды наблюдались также в северной и восточной частях моря Бофорта.

Началось становление припая вдоль арктического побережья всех арктических морей, в проливах Канадского Арктического архипелага и в районе Новосибирских островов со стороны моря Лаптевых.

В январе были хорошо развиты все основные структуры дрейфа льда в СЛО. Стрежень Трансарктического переноса льдов, в который были вовлечены льды на

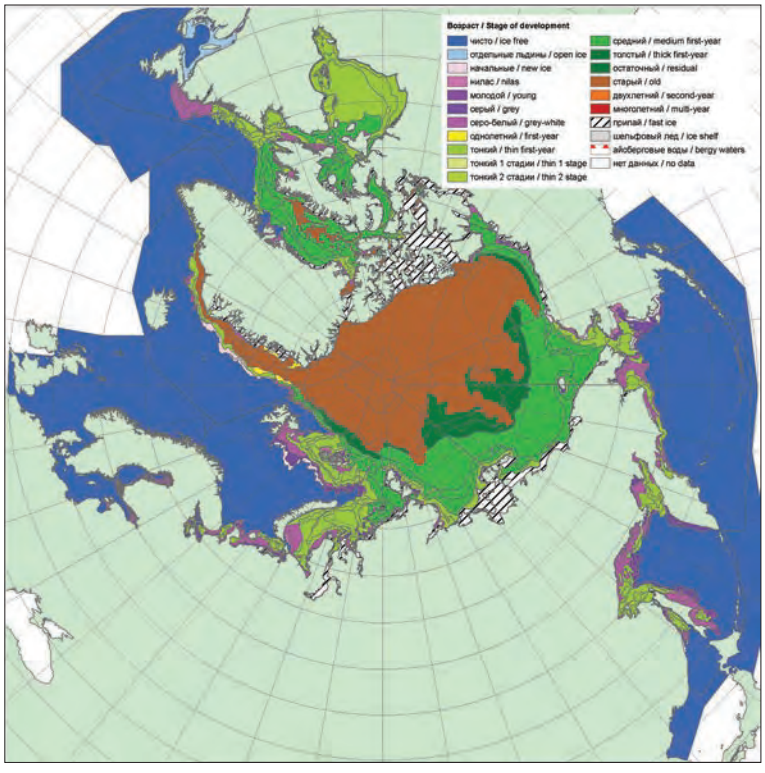


Рис. 2.1.1. Обзорная ледовая карта СЛО за 18—19 января 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

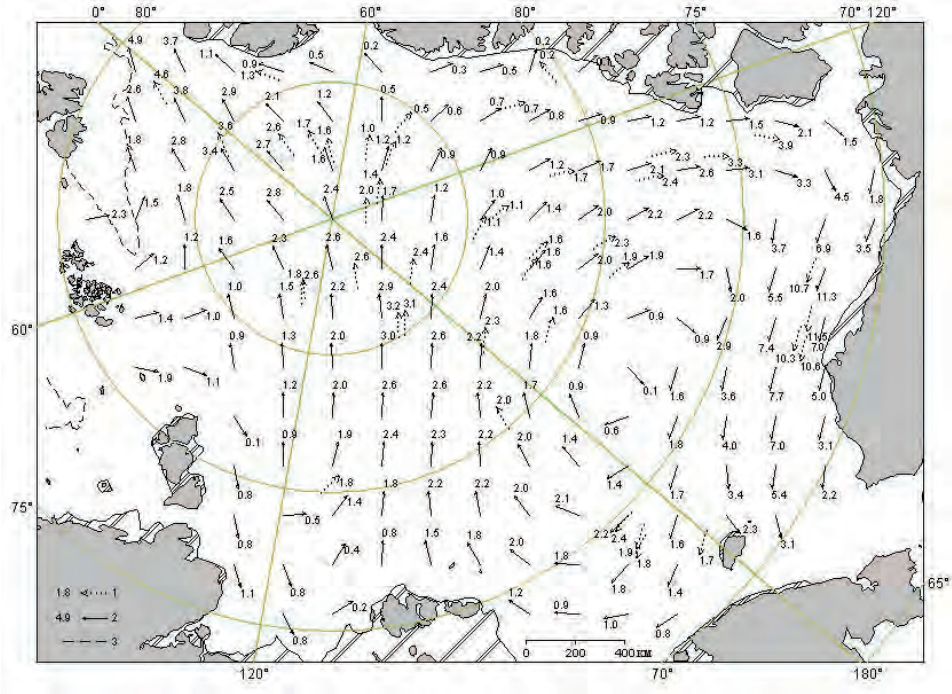


Рис. 2.1.2. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в январе 2016 г.

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

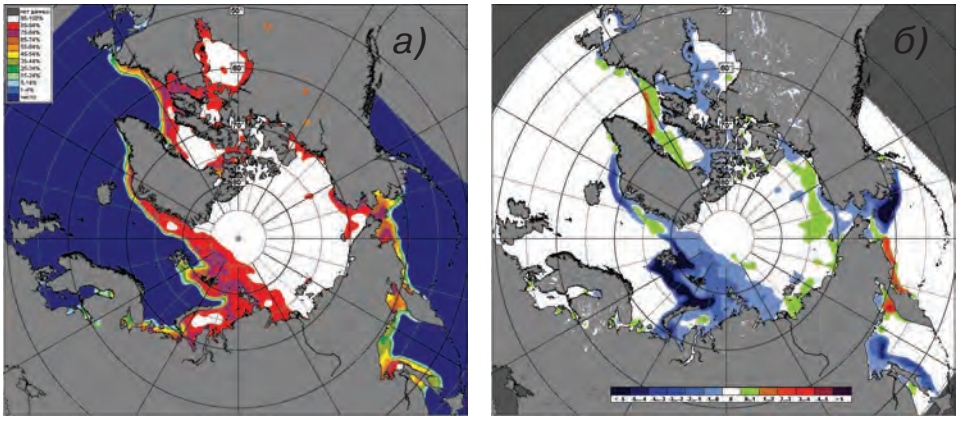


Рис. 2.1.3. Медианное распределение сплоченности льда в январе 2016 г. (*а*) и ее разность относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I—SSMIS, алгоритм NASATEAM.

половине акватории СЛО, был направлен от Новосибирских островов к побережью Гренландии. У побережья Гренландии поток льдов разделялся на две части. Часть переноса была направлена в пролив Фрама, а вторая часть вовлекалась в периферию Канадского антициклонического круговорота. Центр круговорота, также хорошо развитого, был смещен к северной границе Чукотского моря. Обширный кругово-

рот обусловил интенсивный перенос льда вдоль побережья Аляски и вынос льда из моря Бофорта в Чукотское море и Берингов пролив (рис. 2.1.2).

В результате развития поля дрейфа и разделения ветви Трансарктического переноса льда на две части, что вызвало уменьшение поступления льдов в пролив Фрама, сформировались отрицательные аномалии сплоченности льда вдоль побережья Гренландии. Отрицательные аномалии сплоченности льда сформировались также в районе западных окраинных морей, откуда интенсивно выносило лед по периферии Трансарктического переноса льда (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.1.3 *б*). Вдоль побережья Аляски и в районе Чукотского моря сформировались небольшие положительные аномалии сплоченности (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.1.3 *б*).

В феврале продолжалось нарастание льда. Акватории всех арктических морей заполнились однолетними льдами, преимущественно однолетними средними (диапазон толщины 70—120 см). В северных частях морей восточного района российского сектора Арктики и море Бофорта лед перешел в возрастную градацию однолетних толстых. Непосредственно в самих морях (в их центральных и южных частях) преобладали однолетние средние льды. В Баренцевом море наблюдалась большая отрицательная аномалия ледовитости (–25 %). В прикромочной зоне моря наблюдалась обширная полоса молодых льдов, а в северной части располагались однолетние тонкие льды. В северной части Восточно-Сибирского моря сохранялся язык двухлетних льдов.

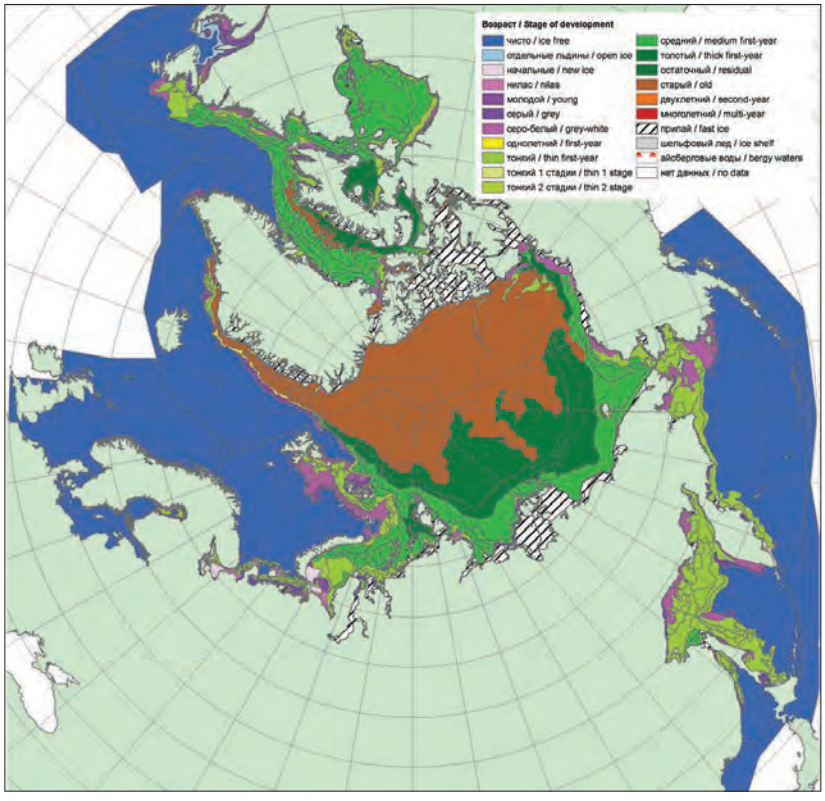


Рис. 2.1.4. Обзорная ледовая карта СЛО за 15—16 февраля 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

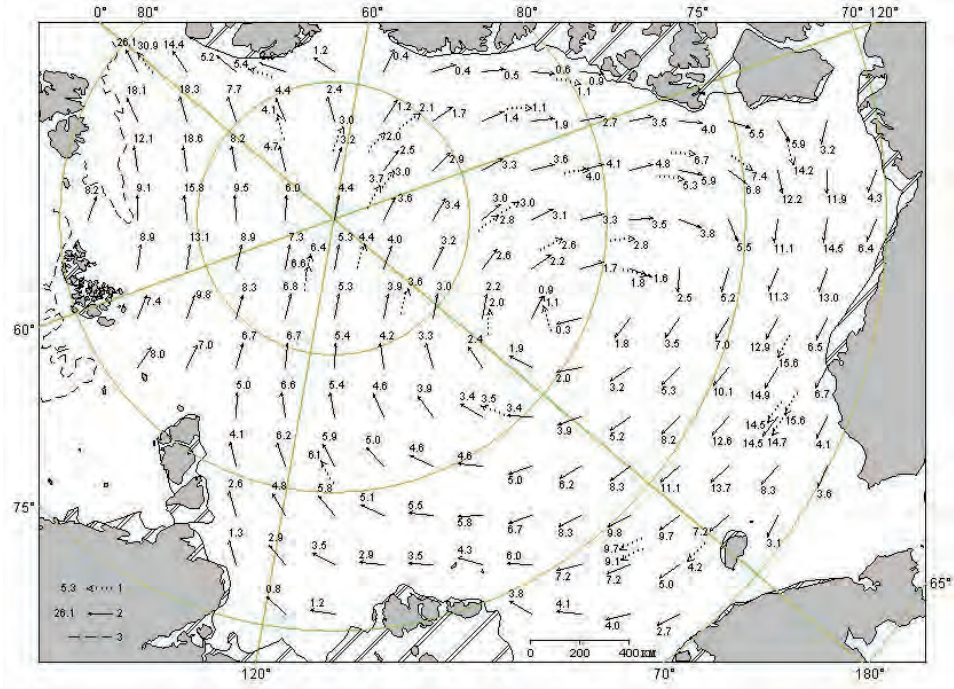


Рис. 2.1.5. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в феврале 2016 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.1.2.

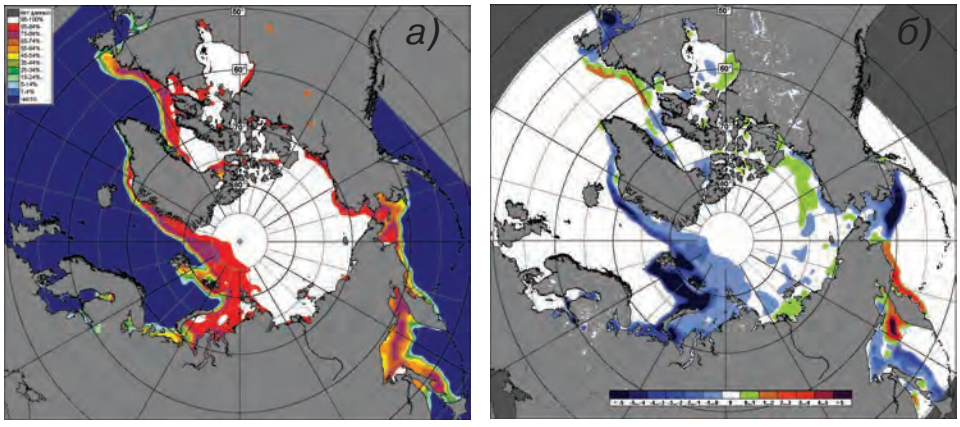


Рис. 2.1.6. Медианное распределение сплоченности льда в феврале 2016 г. (*а*) и ее разность относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I—SSMIS, алгоритм NASATEAM.

Наблюдалось дальнейшее увеличение толщины и площади припая в районе Новосибирских островов и вдоль арктического побережья, однако при этом не произошло становления припая в проливе Вилькицкого. Заприпайные полыньи в морях были развиты слабо (рис 2.1.4).

В поле дрейфа наблюдалось дальнейшее развитие Трансарктического переноса со стрежнем, смещенным от северных границ моря Лаптевых к побережью

островов Канадского Арктического архипелага. Далее весь поток, так же как и в январе, делился на две ветви. Одна из ветвей дрейфа была направлена в пролив Фрама, а другая ветвь вовлекалась в периферию Канадского антициклонического круговорота. В Трансарктический перенос были вовлечены льды на 1/3 акватории СЛО. Канадский антициклонический круговорот был развит очень хорошо и вовлекал в свой круговорот льды на 2/3 акватории СЛО. Прибрежная ветвь круговорота, проходящая вдоль побережья Аляски, достигала западной части Восточно-Сибирского моря (рис. 2.1.5).

В результате развития ледовых условий и дрейфа льда в феврале наблюдалось формирование поля сплоченности льда с хорошо выраженной областью ее отрицательной аномалии (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.1.6 *б*) в западных окраинных морях (Гренландском, Баренцевом, Карском). Небольшие зоны повышенной сплоченности льда (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.1.6 *б*) наблюдались вдоль всего побережья морей восточной Арктики — от моря Бофорта до Восточно-Сибирского.

В марте наблюдалось дальнейшее нарастание и развитие ледяного покрова, особенно заметное в морях восточного района российского сектора Арктики. В возрастном составе льдов в северо-восточной части морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирском начали преобладать однолетние толстые льды. В морях за-

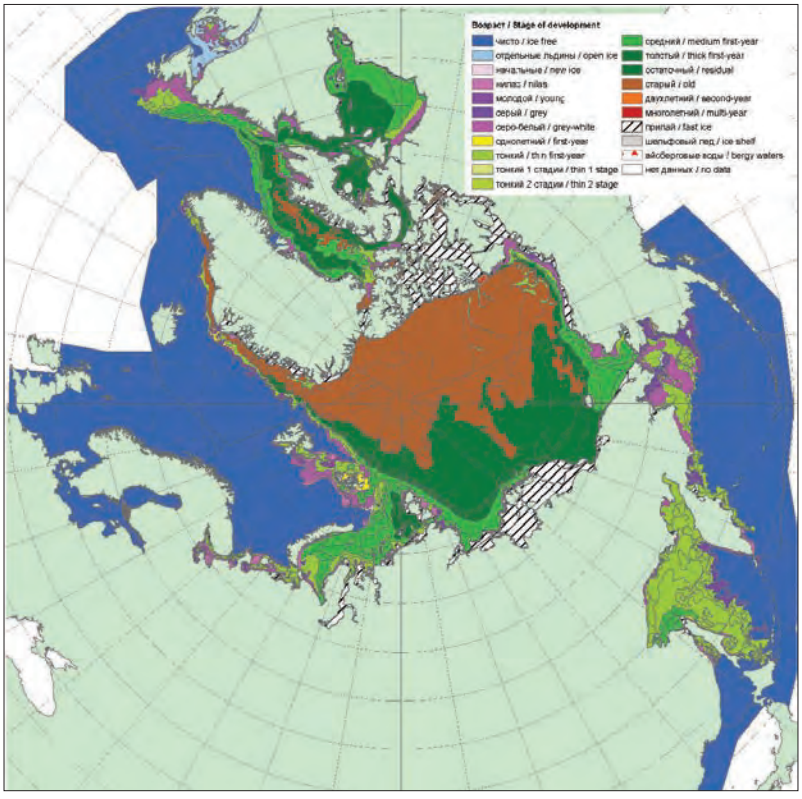


Рис. 2.1.7. Обзорная ледовая карта СЛО за 14—15 марта 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

падного района российского сектора Арктики (Баренцевом и юго-западной части Карского) и Чукотском море преобладали однолетние средние льды, а также наблюдалось большое количество молодых льдов.

Из-за постоянного выноса льдов из моря Лаптевых не установился припай на восточных подходах к проливу Вилькицкого (рис. 2.1.7).

В марте сохранилось поле дрейфа, сформировавшееся в феврале. Были хорошо выражены основные элементы общего дрейфа льда в океане — Трансарктический перенос льда 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 (моря Баренцево, Карское, Лаптевых) в пролив Фрама.

Под воздействием хорошо развитого Канадского антициклонического круговорота продолжался перенос льда 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. Отрицательные аномалии формировались в тех районах, из которых лед выносило в результате дрейфа (зоны, выделенные синим цветом). Положительные аномалии формировались в тех районах, в которые лед приносило в результате его дрейфа (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.1.9 *б*).

Позднее начало ледообразования и средняя интенсивность нарастания льда в морях в течение зимних месяцев 2016 г. привели к тому, что толщина льда, по данным полярных станций, во всех арктических морях была значительно меньше средних многолетних значений.

По данным полярных станций, во всех морях западного района российского сектора Арктики толщина припайного льда была на 20—50 см меньше нормы, а в морях Восточно-Сибирском и Чукотском — на 10—20 см меньше нормы.

Развитие припая в морях в течение первых зимних месяцев происходило с малой интенсивностью. Площадь припая была меньше средних многолетних значений во всех российских арктических морях; исключение составил припай Новосибирских островов. Не полностью сформировался припай в проливе Вилькицкого и в районе архипелага Северная Земля. Припай вокруг Новосибирских островов, напротив, был развит значительно больше, чем в среднем многолетнем. В середине февраля суммарная площадь припая в российских арктических морях составила 398 тыс. км^2 при норме 553 тыс. км^2, т.е. была на 28 % меньше средних многолетних значений в основном за счет слабого развития припая в морях западного района российского сектора Арктики.

Общее количество льдов в Северном Ледовитом океане по оценкам, выполненным в ААНИИ, в конце первого квартала 2016 г. составило 11,5 тыс. км^2, что на 4,2 % меньше среднего многолетнего значения. Меньшее количество льда в СЛО сформировалось за счет малой ледовитости морей гренландского сектора и западного района российского сектора Арктики (см. рис. 2.4.10).

В секторе 45°з.д. — 95°в.д. (Гренландское — Карское моря) количество льда в конце марта было на 17 % меньше среднего многолетнего значения. В секторе 95°в.д. — 170°з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское) и 170—

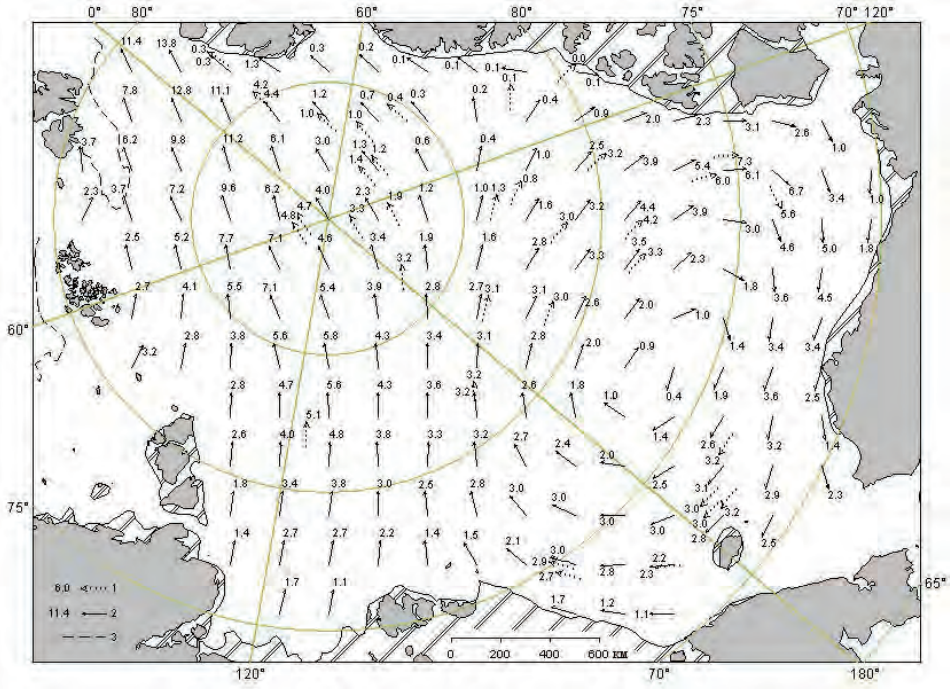


Рис. 2.1.8. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в марте 2016 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.1.2.

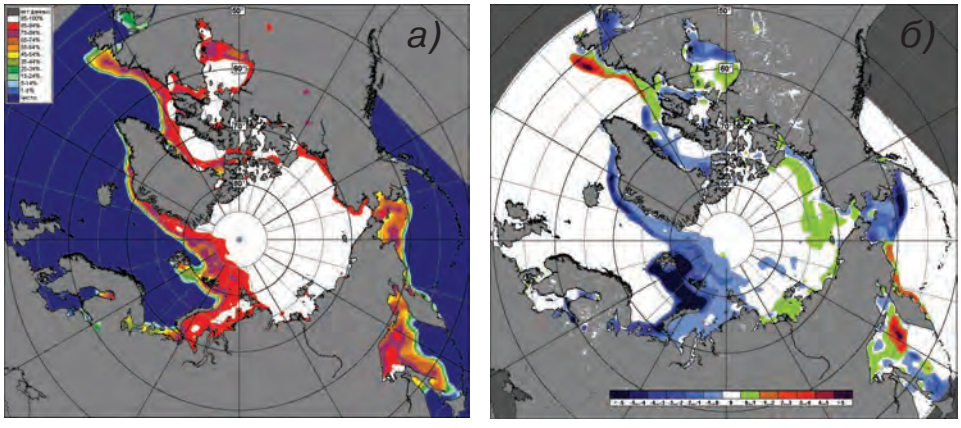


Рис. 2.1.9. Медианное распределение сплоченности льда в марте 2016 г. (*а*) и ее разность относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I—SSMIS, алгоритм NASATEAM.

45°з.д. (море Бофорта и Канадская Арктика) количество льда было незначительно (на 2 %) меньше среднего многолетнего значения.

Необходимо отметить, что если в конце 2015 г. отрицательная аномалия общего количества льда в СЛО составила 5,6 %, то за первый квартал 2016 г. аномалия сократилась почти на 1,5 % и составила 4,2 %, что свидетельствует о достаточно интенсивном накоплении льда в СЛО в первом квартале года.

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

Развитие ледовых условий в весенний период 2016 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 морем Лаптевых.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям и поля среднемесячного дрейфа за период апрель — июнь 2016 г. приведены на рисунках 2.2.1—2.2.9.

В апреле на акватории СЛО произошли качественные изменения в 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 море и юго-западной части Карского моря) и прибрежных частях морей Бофорта и Чукотского в течение апреля наблюдались однолетние средние льды и небольшое количество однолетних тонких льдов. Заприпайные полыньи в арктических морях были развиты крайне слабо, в связи с чем молодых льдов (толщиной до 30 см) наблюдалось также мало.

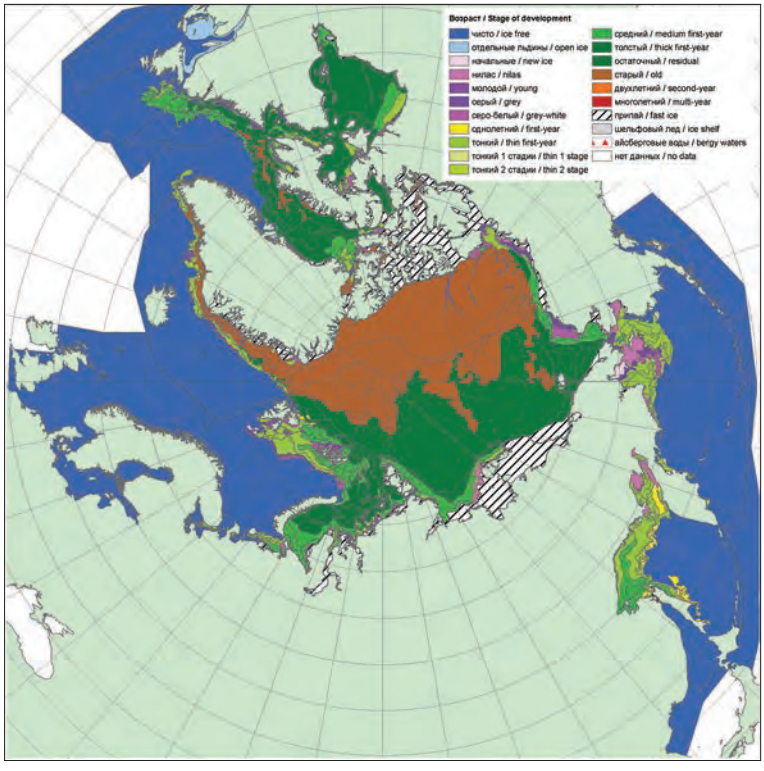


Рис. 2.2.1. Обзорная ледовая карта СЛО за 18—19 апреля 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

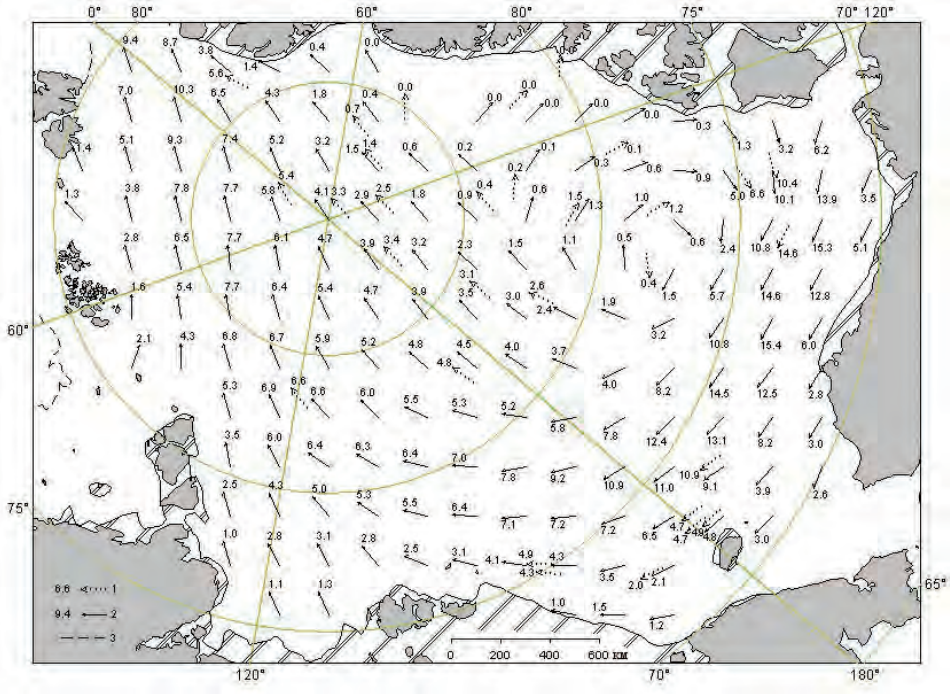


Рис. 2.2.2. Поле скорости результирующего дрейфа льда за апрель 2016 г.

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

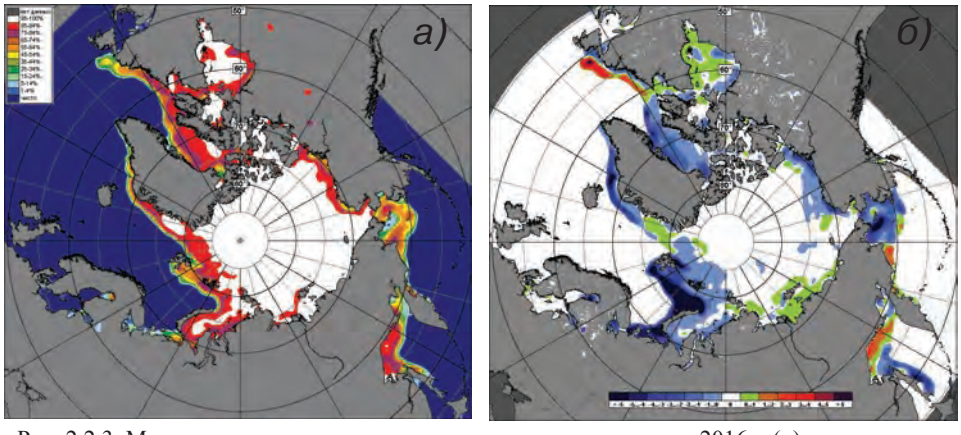


Рис. 2.2.3. Медианные распределения сплоченности льда в апреле 2016 г. (*а*) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I—SSMIS.

Припай был хорошо развит в районе архипелага Новосибирских островов и очень слабо развит в районе архипелага Новая Земля. Сплошной припай в проливе Вилькицкого отсутствовал.

Старые льды наблюдались в канадском, гренландском и аляскинском секторах и части приполюсного района Арктики. К северу от острова Врангеля, на грани-

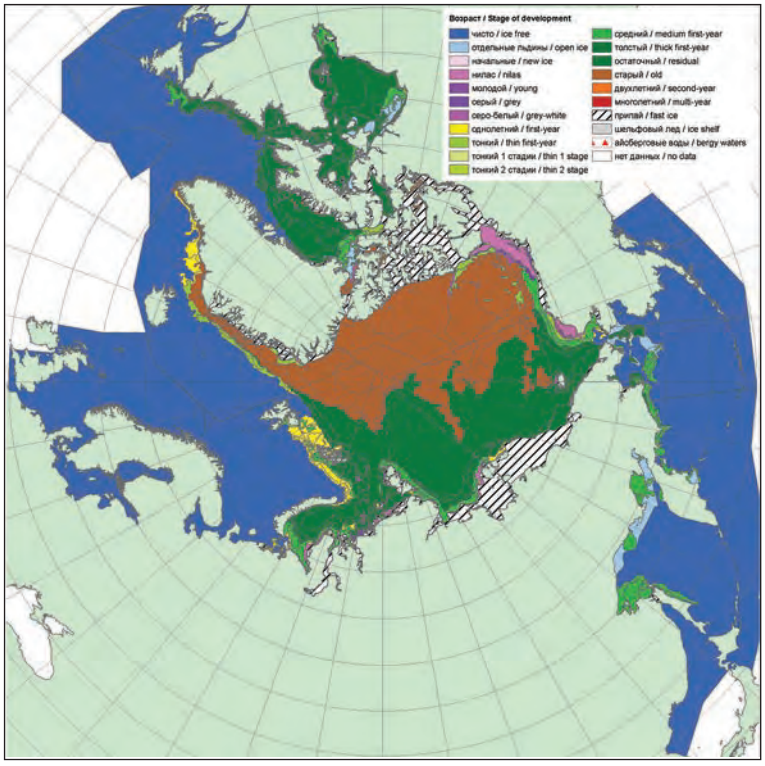


Рис. 2.2.4. Обзорная ледовая карта СЛО за 16—17 мая 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

це между Восточно-Сибирским и Чукотским морями, сохранялся небольшой язык двухлетних льдов (рис. 2.2.1).

Основные структуры дрейфа льда в СЛО — Трансарктический перенос льда и Канадский антициклонический круговорот — были развиты хорошо.

Стрежень Трансарктического переноса льда был смещен к северной части Новосибирских островов. Это привело к выносу однолетних льдов из морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в приполюсный район. Далее уже 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 мощный перенос льда вдоль побережья Аляски в северные части Чукотского и Восточно-Сибирского морей (рис. 2.2.2).

В поле сплоченности ледяного покрова прослеживалась однородность. Зоны пониженной сплоченности наблюдались в Гренландском, Баренцевом и Карском морях, откуда выносило лед в результате Трансарктического переноса (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.2.3 *б*). Зоны повышенной сплоченности располагались в прибрежной зоне моря Бофорта и в Восточно-Сибирском море, куда лед поступал по периферии Канадского антициклонического круговорота (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.2.3 *б*).

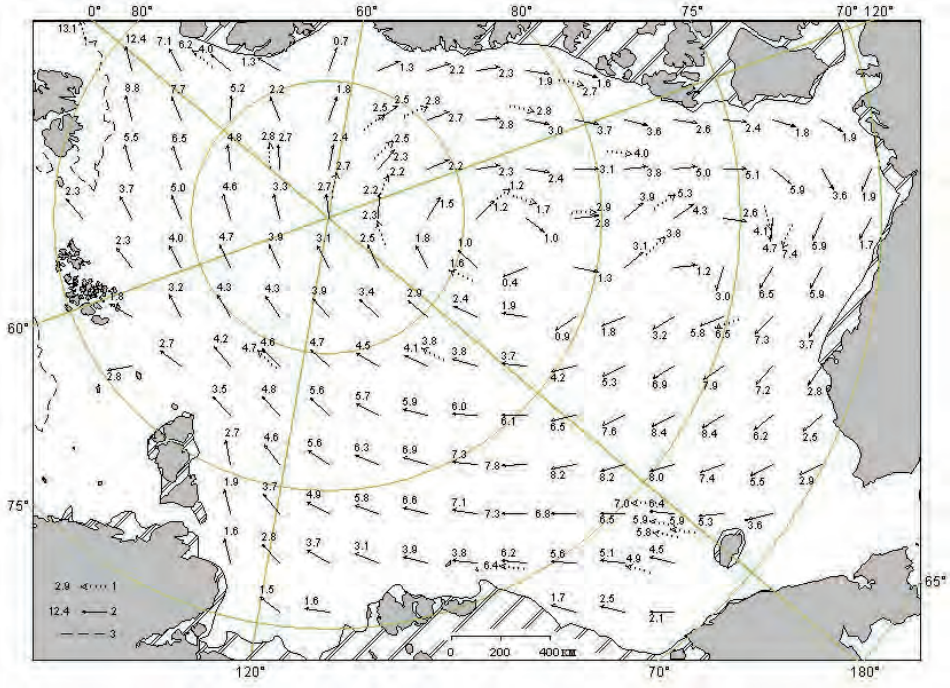


Рис. 2.2.5. Поле скорости результирующего дрейфа льда за май 2016 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.2.2.

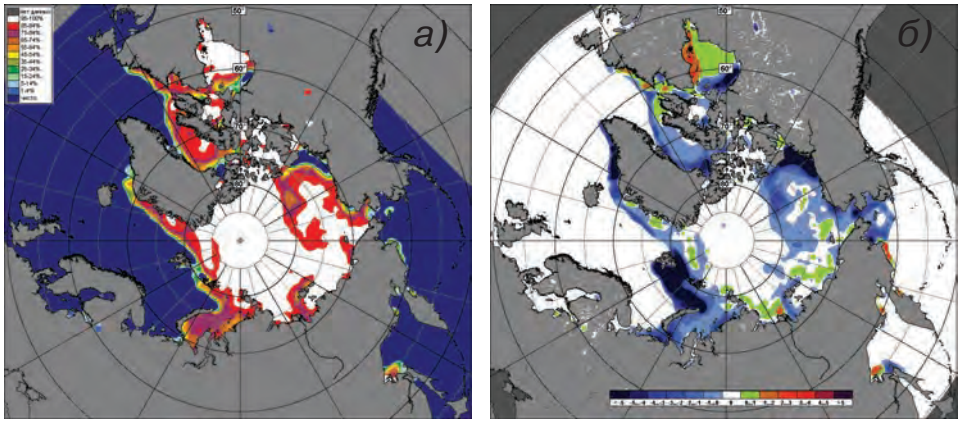


Рис. 2.2.6. Медианные распределения сплоченности льда в мае 2016 г. (*а*) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I—SSMIS.

В конце мая, который считается периодом максимального развития ледяного покрова, в структурном составе льдов всего бассейна Северного Ледовитого океана преобладали однолетние льды (преимущественно однолетние толстые льды), которые составляли около 50 % общего количества льда. Около 45 % общего количества льда составляли старые льды. Остальная часть ледяного покрова была представлена однолетними средними и тонкими льдами, которые наблюдалось в прикромоч-

ных областях морей Гренландского и Баренцева, а также в прибрежной части морей Чукотского и Бофорта.

Однолетние льды занимали весь российский сектор Арктики, часть гренландского сектора и более половины приполюсного района. Старые льды наблюдались преимущественно в гренландском, канадском и аляскинском секторах Арктики (рис. 2.2.4).

Припай и заприпайные полыньи были развиты слабо во всех окраинных арктических морях, кроме западной части Восточно-Сибирского моря.

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

Стрежень Трансарктического переноса сместился к западу и наблюдался западнее меридиана 120° с.ш., в северо-западной части моря Лаптевых. Дрейф льдов, направленный 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 льдов из приполюсного района в центральной части СЛО большое количество старых льдов было замещено однолетними льдами из северной части моря Лаптевых.

Канадский антициклонический круговорот был хорошо развит и наблюдался в виде развитого вихря с центром, смещенным к приполюсному району. Прибрежная ветвь дрейфа проходила вдоль побережья Канадского Арктического архипелага и Аляски, далее по северной части морей Чукотского и Восточно-Сибирского (рис. 2.2.5). Таким образом, смещение Канадского антициклонического круговорота к приполюсному району обусловило вынос льда из северных частей морей Бофорта, Чукотского и Восточно-Сибирского.

В распределении сплоченности льдов наблюдались отрицательные аномалии сплоченности в западных морях (Баренцево, Карское) и в северных частях морей Бофорта, Чукотского и Восточно-Сибирского (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.2.6 *б*). В прибрежных частях морей восточного района российского сектора и в Гренландском секторе Арктики наблюдались положительные аномалии сплоченности (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.2.6 *б*).

В весенний период интенсивность нарастания льда была несколько выше нормы в восточном районе арктического сектора Арктики, в результате чего значения толщины льда в морях Восточно-Сибирском и Чукотском приблизились к средним многолетним значениям.

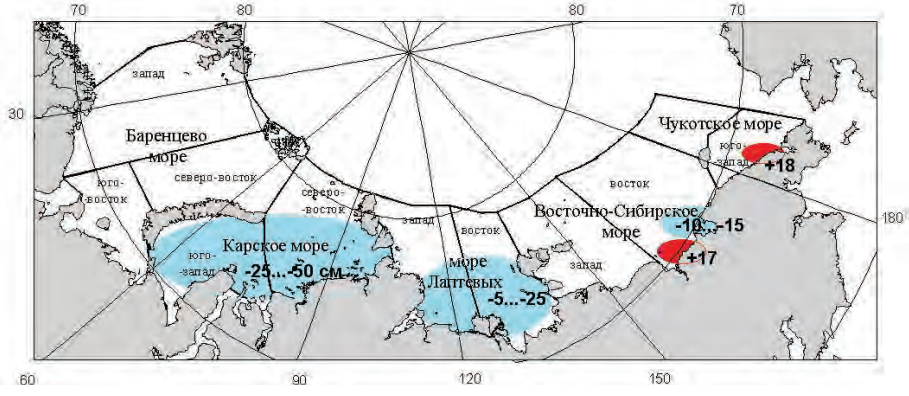


Рис. 2.2.7. Аномалии толщины льда в морях российского сектора Арктики по данным полярных станций в период максимального нарастания льда (конец мая) в 2016 г.

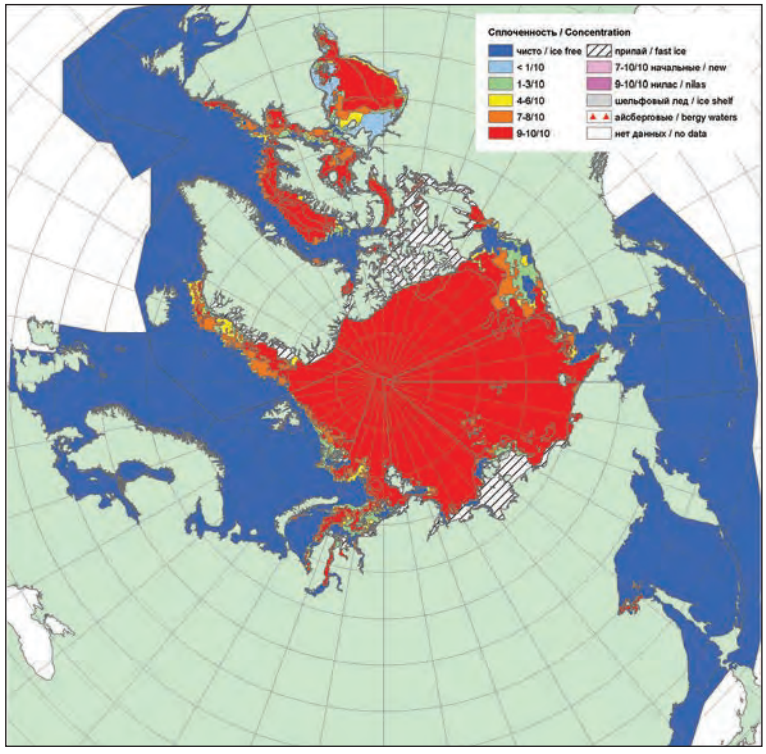


Рис. 2.2.8. Обзорная ледовая карта СЛО за 20—21 июня 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

Однако в морях западного района российского сектора Арктики крупные отрицательные аномалии толщины льда сохранились и составили –25… –50 см. Аномалии толщины льда в конце периода его нарастания (май) приведены на рис. 2.2.7.

В июне началось чрезвычайно быстрое очищение окраинных морей западного района российского сектора Арктики — Баренцева и Карского. В этих морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости. В Баренцевом море аномалия ледовитости в третьей декаде июня составила –35 %, в Карском море –36 %. Очищение морей было связано в первую очередь с интенсивным дрейфом выносного характера из этих морей через северную границу, адвекцией тепла в эти районы и развитием процессов таяния и разрушения льда (рис. 2.2.8).

В июне в связи с произошедшей крупномасштабной перестройкой направленности атмосферных процессов, смещением центра циркумполярного вихря в приполюсный район и сменой знака барического поля от антициклонического к циклоническому произошла полная перестройка поля дрейфа льдов.

В поле дрейфа наблюдалось полное отсутствие Трансарктического переноса льда, что само по себе является крайне необычным явлением. Кроме того, вместо характерного Канадского антициклонического круговорота сформировался гигантский циклонический вихрь, охвативший весь бассейн Северного Ледовитого океана. Центр сформировавшегося циклонического вихря располагался на меридиане 150° в.д., между архипелагом Новосибирских островов и Северным полюсом.

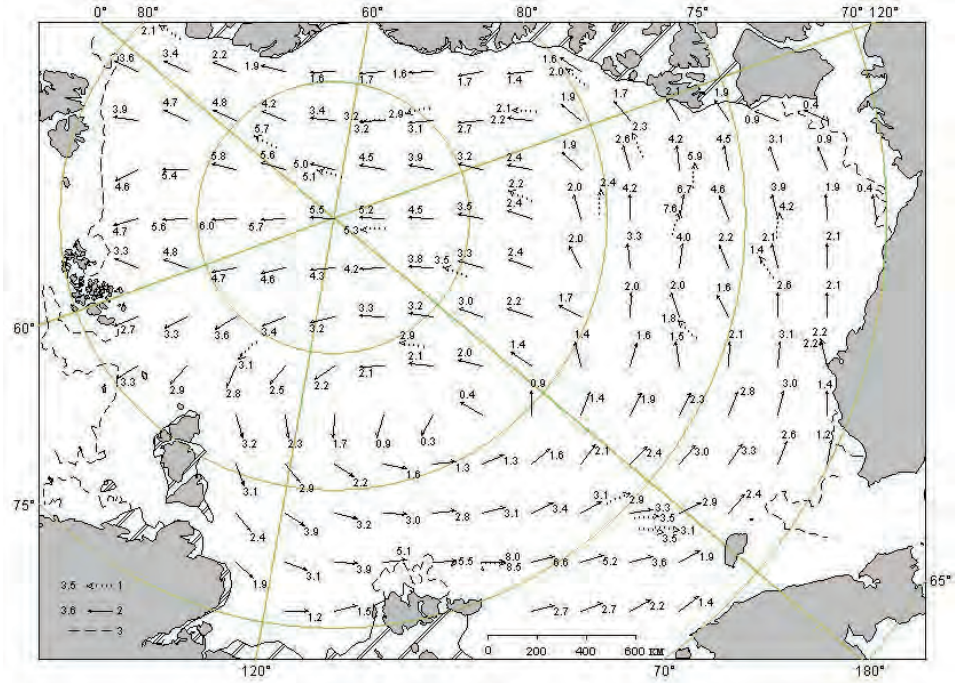


Рис. 2.2.9. Поле скорости результирующего дрейфа льда за июнь 2016 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.2.2.

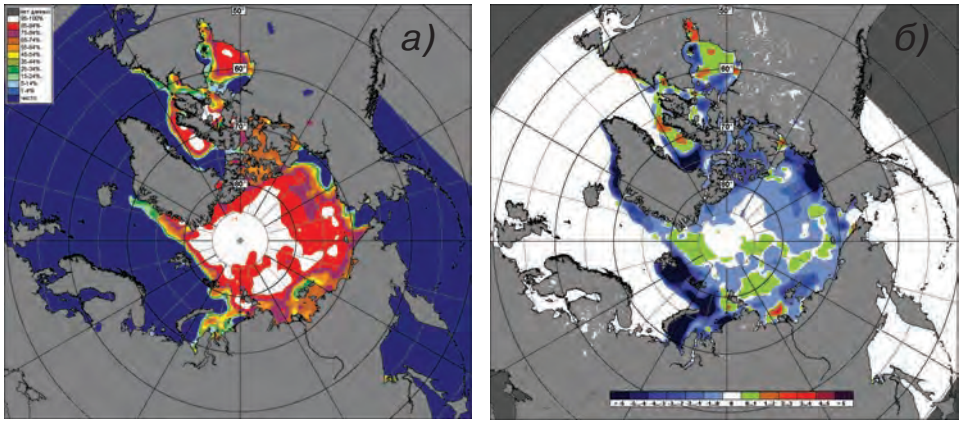


Рис. 2.2.10. Медианные распределения сплоченности льда в июне 2016 г. (*а*) и ее разность относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I—SSMIS.

Такой характер дрейфа обусловил вынос льда в течение июня из восточных окраинных арктических морей Чукотского и Бофорта и поступление льда в моря Гренландское и Лаптевых (рис. 2.2.9).

В результате сложившегося поля дрейфа с развитым циклоническим круговоротом вместо обычных структур дрейфа в поле сплоченности ледяного покрова наблюдалось формирование обширных разряжений в восточных окраинных морях — Чукотском и

Бофорта (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.2.10 *б*). Зоны положительной аномалии сплоченности (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.2.10 *б*) сформировались в зонах приноса ледяного покрова — в гренландском секторе Арктики и море Лаптевых.

Общее количество льда в Северном Ледовитом океане по оценкам, выполненным в отделе ледового режима и прогнозов ФГБУ «ААНИИ», в конце второго квартала 2016 г. оказалось на 11 % меньше среднего многолетнего значения за счет малой ледовитости морей западного сектора 45° з.д. — 95° в.д. (Гренландское — Карское моря) Арктики (рис. 2.4.10). Необходимо отметить, что за второй квартал 2016 г., в который входит период интенсивного нарастания льда (апрель — май), произошло увеличение отрицательной аномалии ледовитости от –4 % в первом квартале до –11 % во втором. Это свидетельствует о меньшем накоплении льда в Северном Ледовитом океане перед началом летнего периода.

Л.П. Мочнова, С.В. Хотченков, А.В. Юлин

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

В конце июня в СЛО сложились следующие гидрометеорологические и ледовые условия: сохранялись положительные аномалии температуры воздуха в Арктике, наблюдалось преобладание однолетних льдов в западном и восточном районах российского сектора Арктики, сохранялся небольшой язык двухлетних льдов в северо-восточной части Восточно-Сибирского моря; основной массив старых льдов был смещен в гренландский и канадский секторы Арктики.

В структурном составе льдов всего бассейна Северного Ледовитого океане преобладали однолетние льды, которые составляли около 55—60 % общего количества льда. Около 40—45 % общего количества льда составляли старые льды.

Однолетние льды занимали западный и восточный районы российского сектора Арктики и прибрежную часть аляскинского сектора Арктики. Старые льды наблюдались преимущественно в гренландском, канадском и частично в аляскинском секторах Арктики, а также в части приполюсного района.

На таком благоприятном фоне, который сформировался в начале летнего периода и особенно хорошо проявился в окраинных морях российского сектора Арктики, продолжили развиваться летние процессы.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период июль — сентябрь 2016 г. приведены на рис. 2.3.1—2.3.9.

В июле продолжалось интенсивное очищение западных морей Арктики (Гренландского, Баренцева и Карского) и Чукотского моря. К концу июля значительная часть акватории этих морей очистилась от дрейфующих льдов, аномалии ледовитости составили –50… –65 %.

Припай в российских арктических морях в первой половине июля полностью разрушился, и это произошло в среднем на 5—10 суток раньше средних многолетних сроков. Припай сохранялся только среди островов Канадского Арктического архипелага.

Большое количество льда сохранялось в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. Развитие ледовых условий в этих районах было близким к среднему многолетнему значению. Продолжилось формирование обширных разрежений в районе Новосибирских островов и в море Бофорта. Интенсивный вынос льда из СЛО наблюдался через пролив Фрама и далее вдоль побережья Гренландии (рис. 2.3.1).

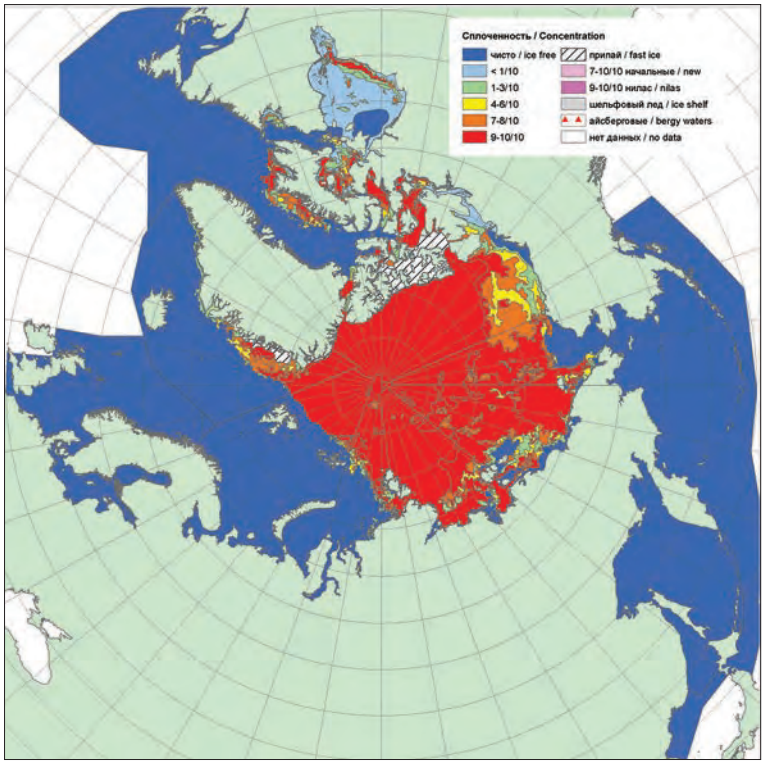


Рис. 2.3.1. Обзорная ледовая карта за 18—19 июля 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

Дрейф ледяного покрова приведен на рис. 2.3.2. В поле дрейфа льда наблюдалось формирование необычной картины. Вместо обычно наблюданмых структур дрейфа — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота, сформировались два гигантских вихря. Один из них, циклонический вихрь, сформировался к северу от архипелага Новосибирских островов. Он обусловил вынос льдов из западной части Восточно-Сибирского и Чукотского морей и одновременно поступление льдов в восточную часть моря Лаптевых и в гренландский сектор Арктики.

Вторым вихрем стал Канадский антициклонический круговорот, центр которого был смещен к побережью Аляски. Канадский антициклонический круговорот обусловил незначительное поступление льдов в море Бофорта, слабый прибрежный перенос льдов вдоль побережья Аляски и поступление этих льдов в северные части морей Чукотского и Восточно-Сибирского.

Общая ледовитость Северного Ледовитого океана в июле была значительно меньше нормы. Она оказалась аномально низкой за весь ряд наблюдений (рис. 2.4.10 *а*).

Основной вклад в формирование отрицательной аномалии ледовитости и отрицательной аномалии поля сплоченности вносили все арктические моря без исключения (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.3.3 *б*). Положительные аномалии сплоченности льда наблюдались в приполюсном районе и в гренландском секторе Арктики, куда был направлен основной вынос льдов (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.3.3 *б*).

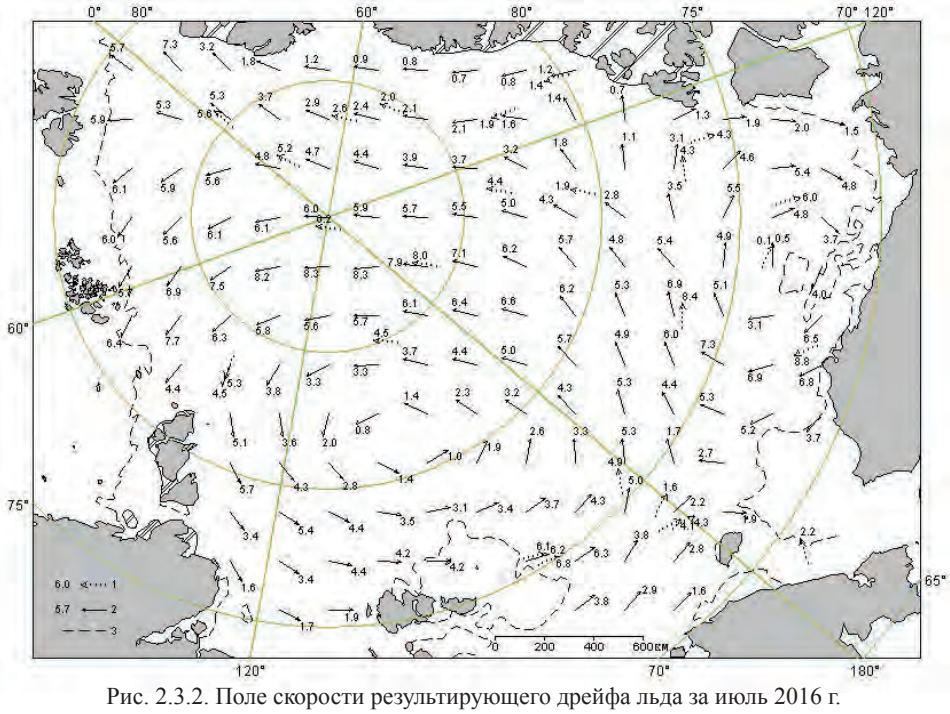


Рис. 2.3.2. Поле скорости результирующего дрейфа льда за июль 2016 г.

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

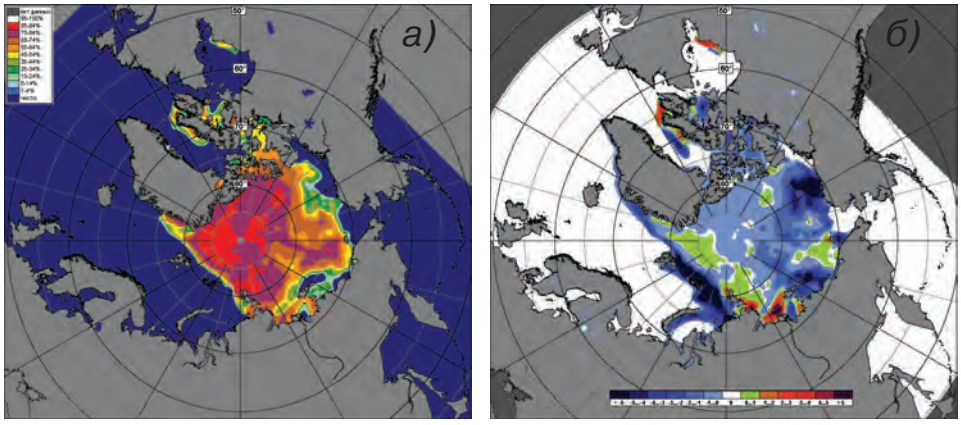


Рис. 2.3.3. Медианное распределение сплоченности льда в июле 2016 г. (*а*) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I, алгоритм NASATEAM.

В течение августа продолжалось сокращение ледяного покрова в Северном Ледовитом океане. Уменьшение ледовитости происходило в основном за счет разрушения льда во всех морях российского сектора Арктики и в море Бофорта. Большая часть всех окраинных арктических морей российского сектора Арктики (за исключением западной части моря Лаптевых) и прибрежная часть моря Бофорта

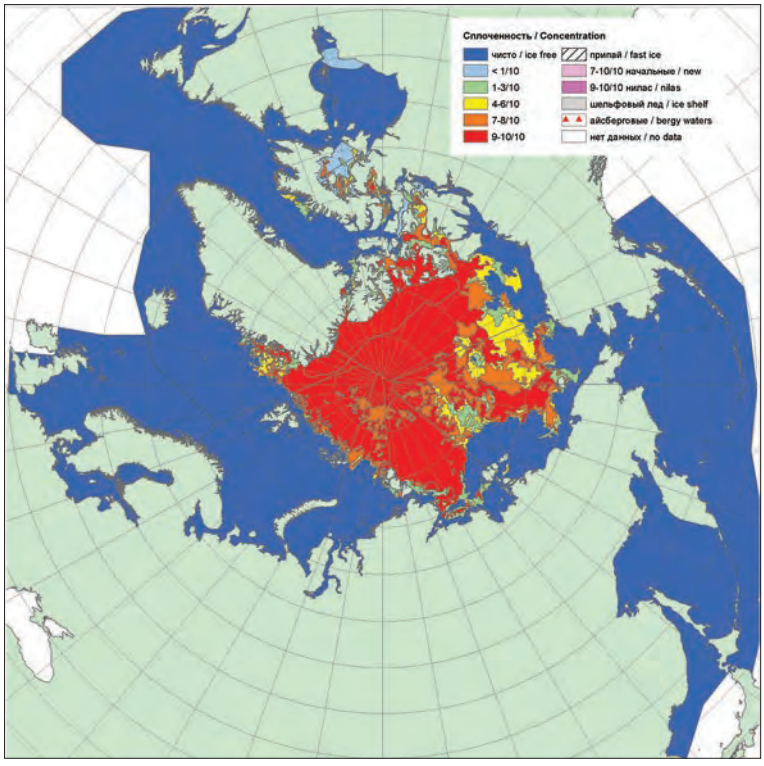


Рис. 2.3.4. Обзорная ледовая карта за 15—16 августа 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

полностью очистились от льда. Сформировалась крупная отрицательная аномалия ледовитости, составившая в разных морях от –20 до –50 %.

Граница отступления дрейфующих льдов на север в Восточно-Сибирском море в августе 2016 г. располагалась на аномально высокой широте и приближалась к наблюдавшемуся в 2007 г. историческому минимуму развития ледяного покрова (рис. 2.3.4).

В августе в поле дрейфа льда произошли существенные изменения. Традиционных структур дрейфа в СЛО не наблюдалось. Сохранялся один гигантский циклонический вихрь, который сформировался еще в июне. Это вихрь существенно увеличился в размерах и охватывал практически весь бассейн СЛО. Сформировавшийся и расширившийся вихрь поддерживал вынос льдов из морей Бофорта, Восточно-Сибирского и Чукотского в гренландский сектор Арктики и в западную часть моря Лаптевых (рис. 2.3.5).

В результате смещения массива арктических льдов к побережью Гренландии и островам Канадского Арктического архипелага, обусловленного выносом сюда льдов из морей Бофорта, Чукотского и Восточно-Сибирского, в этих районах сформировались положительные аномалии сплоченности льда. Положительная аномалия сплоченности наблюдалась также в западной части моря Лаптевых (зоны, выделенные зеленым и красным цветом на рис. 2.3.6). В результате интенсивного таяния, разрушения и выноса льдов в морях Гренландском, Баренцевом, Карском,

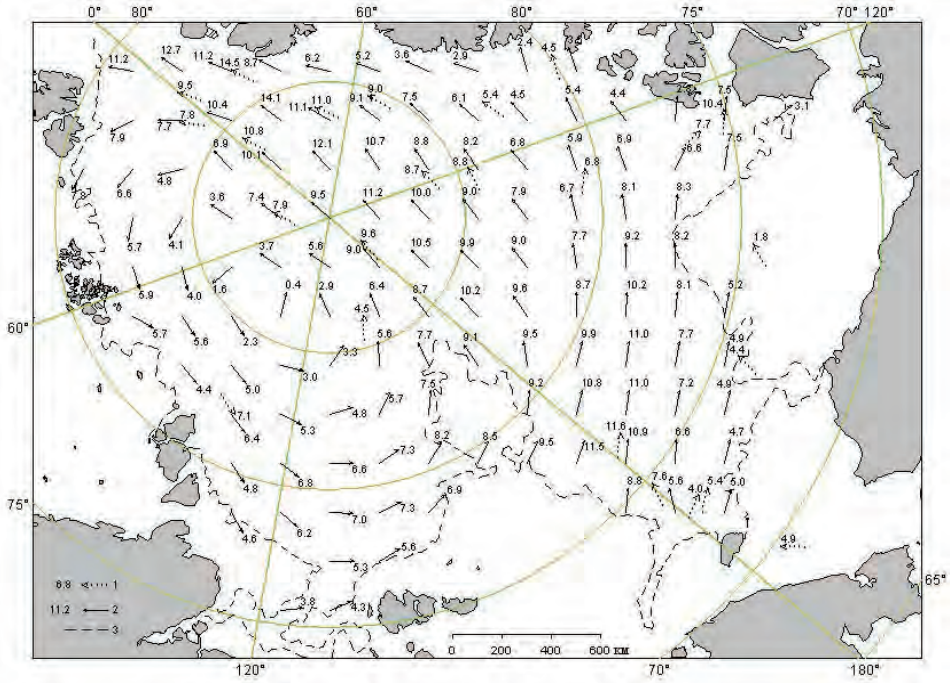


Рис. 2.3.5. Поле скорости результирующего дрейфа льда за август 2016 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.3.2.

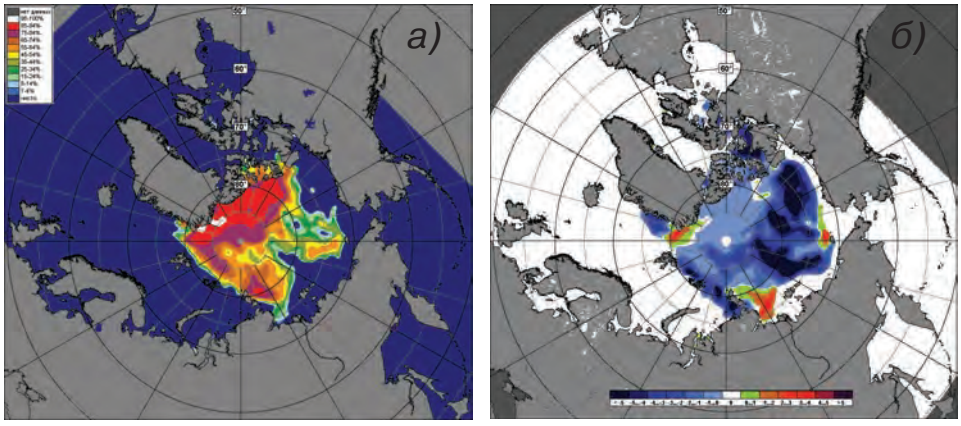


Рис. 2.3.6. Медианное распределение сплоченности льда в августе 2016 г. (*а*) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I, алгоритм NASATEAM.

Восточно-Сибирском и Бофорта в поле сплоченности льда сформировались отрицательные аномалии (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.3.6).

В течение первой половины сентября продолжалось сокращение площади ледяного покрова в СЛО. Уменьшение ледовитости отмечалось в окраинных морях, в которых сохранились отроги ледяных массивов: в западной части моря Лаптевых и восточной части Восточно-Сибирского моря.

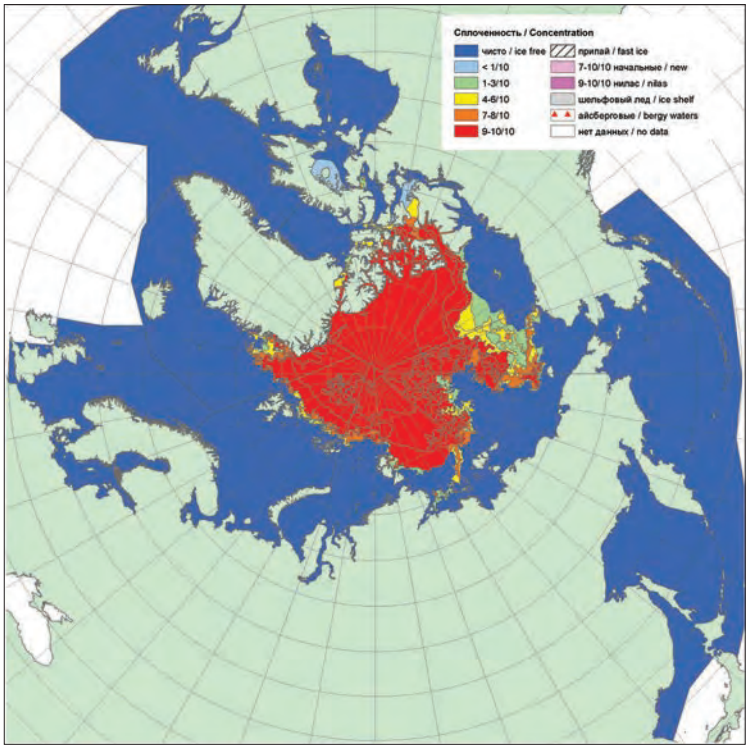


Рис. 2.3.7. Обзорная ледовая карта за 12—13 сентября 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

В середине сентября в прикромочной зоне по меридиану 180° к северу от параллели 82° с.ш. началось ледообразование. Это произошло в среднем на 15—20 суток позднее средних многолетних сроков. Ледообразование развивалось очень медленно. В конце сентября ледообразование начало отмечаться повсеместно только в зоне остаточных льдов, практически не выходя за их границы на чистую воду.

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 сохранилось в западных частях моря Лаптевых и восточной части Восточно-Сибирского моря (рис. 2.3.7).

Дрейф ледяного покрова приведен на рис. 2.3.8. В сентябре в поле дрейфа льда существенных изменений не наблюдалось. Устойчиво сохранялся обширный циклонический вихрь, который способствовал выносу льдов из окраинных морей и накоплению их в приполюсном районе и гренландском и канадском секторах Арктики.

Обычно наблюдаемые структуры дрейфа — Трансарктический перенос льда и Канадский антициклонический круговорот — полностью отсутствовали.

В сентябре сохранились значительные отрицательные аномалии сплоченности льда у северных границ всех арктических морей в результате его выноса ветвью циклонического вихря (зоны темно-синего цвета на рис. 2.3.9 *б*). Положительные аномалии сплоченности сохранялись в приполюсном районе и гренландском секторе Арктики (зоны зеленого цвета на рис. 2.3.9 *б*).

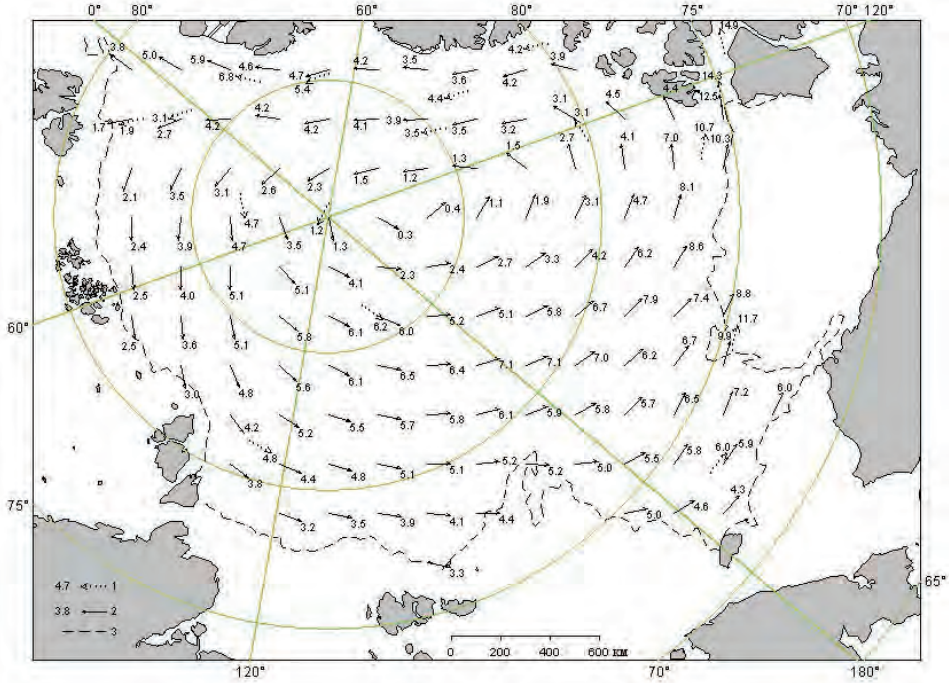


Рис. 2.3.8. Поле скорости результирующего дрейфа льда за сентябрь 2016 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.3.2.

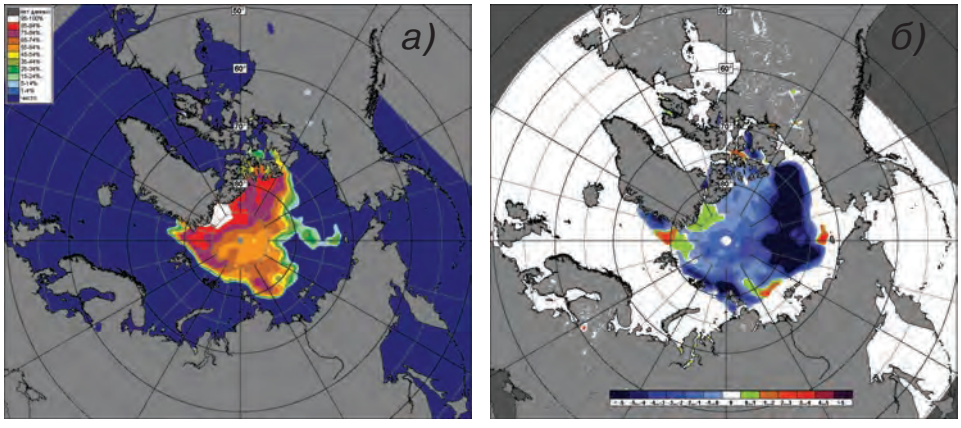


Рис. 2.3.9. Медианное распределение сплоченности льда в сентябре 2016 г. (*а*) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2015 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I, алгоритм NASATEAM.

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2016 г. составила 4,3 млн км^2 при норме 6,1 млн км^2, т.е. была на 29,5 % меньше средних многолетних значений. Значения общей ледовитости в СЛО и во всех его секторах оказались меньше средних значений ледовитости за весь ряд наблюдений (с 1978 по 2015 г.), а также меньше чем за последнее «теплое» десятилетие (2006—2016 гг.). Однако при этом общая площадь льдов суще-

Таблица 2.3.1

Медианные значения ледовитости (*S*) за 12—13 сентября 2016 г. и ее аномалии в сравнении со значениями за ряд лет и периоды 2006—2016 и 1978—2016 гг. по данным наблюдений SSMR—SSM/I—SSMIS, алгоритм NASATEAM

Район, сектор	*S*, тыс. км^2	Аномалия, тыс. км^2						
		2011	2012	2013	2014	2015	2006–2016	1978–2016
СЛО	4324,2	–178,1	918,1	–746,2	–719,9	–153,5	–362,1	–1779,1
Сектор 45° з.д. — 95° в.д. (Гренландское — Карское моря)	1148,3	–63,7	107,2	287,2	–248,4	–69,8	–90,7	–291,7
Сектор 95°в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское, Берингово, Охотское)	1257,2	–113,5	533,0	–296,4	13,5	93,4	–31,3	–740,0
Сектор 170° з.д. — 45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика)	1918,7	–0,9	277,9	–737,0	–485,0	–177,1	–240,0	–747,4

ственно (на 0,5—1,0 млн км^2) превышала ледовитость, наблюдавшуюся в аномально легких по ледовым условиям 2007 и 2012 гг., став, таким образом, третьей по рангу в группе легких по ледовым условиям лет.

Данные о ледовитости Северного Ледовитого океана и его секторов за сентябрь, а также сравнение ее с ледовитостью за ряд лет начиная с 2011 г. 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 20 сентября 2016 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR — SSM/I — SSMIS, алгоритм NASATEAM. Ход общей ледовитости показывает, что практически весь летний период количество льда в целом по СЛО было меньше среднего многолетнего значения (нормы за 1978—2016 гг.), но не опускалась ниже крайнего экстремального значения, которое наблюдалось в 2012 г.

В.М. Смоляницкий, А.Д. Федорова, А.В. Юлин

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

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям и поля среднемесячного дрейфа за каждый месяц за период октябрь — декабрь 2016 г. приведены на рис. 2.4.1—2.4.9.

После аномально легких ледовых условий, сложившихся к концу летнего периода, ледообразование в осенний период 2016 г. началось значительно позднее средних многолетних сроков. В центральной части СЛО и в проливах Канадского Арктического архипелага начальные льды стали отмечаться в начале второй декады сентября, что на 15—20 суток позднее средних многолетних сроков.

К северным границам морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Бофорта волна ледообразования подошла в конце первой декады октября, что почти на месяц позднее средних многолетних сроков.

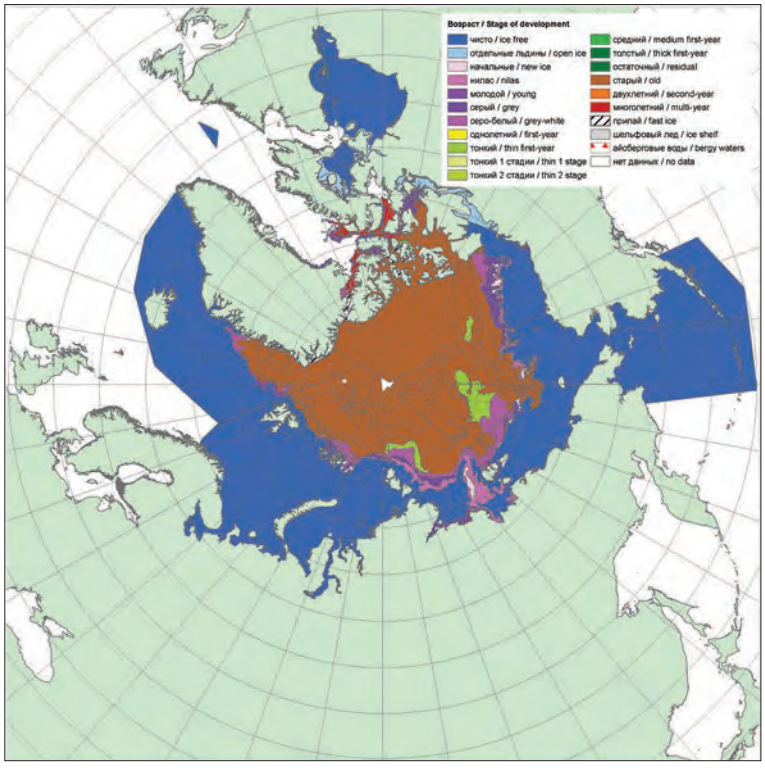


Рис. 2.4.1. Обзорная ледовая карта за 17—18 октября 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

Ледообразование в октябре 2016 г. характеризовалось низкой интенсивностью повсеместно, кроме моря Лаптевых и проливов Канадского Арктического архипелага. Количество молодых льдов, появившихся в СЛО и его морях с середины сентября по середину октября, составило около 1,5 млн км^2, что на 0,5 млн км^2 меньше среднего многолетнего значения (–25 %).

В начале октября волна ледообразования подошла к северной границе всех арктических морей. В середине октября начальные и молодые льды появились в прибрежной и центральной частях моря Лаптевых и проливах Канадского Арктического архипелага.

В конце октября молодыми льдами были полностью покрыты море Лаптевых, проливы Канадского Арктического архипелага, восточная часть моря Бофорта. Ледообразование началось в прибрежных районах морей — северо-западной части Карского, западной части Восточно-Сибирского и Бофорта. Остальные окраинные моря — Гренландское, Баренцево, Чукотское — оставались полностью свободными от льда.

Среди остаточных льдов в СЛО в третьей декаде октября уже наблюдался переход молодых льдов в возрастную градацию однолетних тонких льдов (рис. 2.4.1).

В октябре Трансарктический перенос льда был развит слабо. Его стрежень был смещен к западу и располагался вдоль линии, проходящей от северной оконечности архипелага Северная Земля к проливу Фрама. Слабое развитие Трансарктического переноса обусловило слабый вынос льдов из морей Карского и Лаптевых.

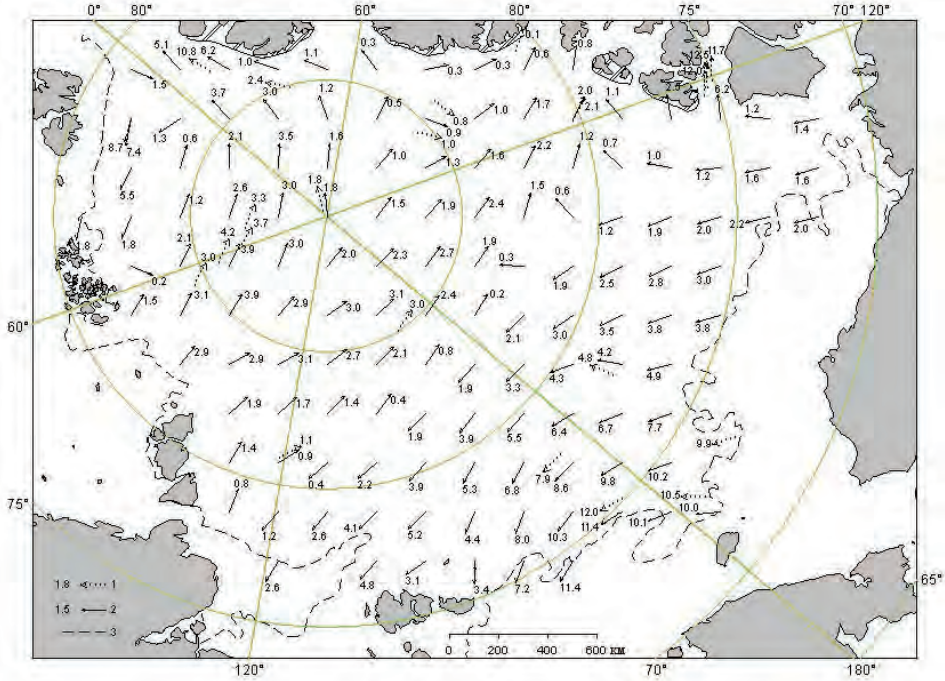


Рис. 2.4.2. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в октябре 2016 г.

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

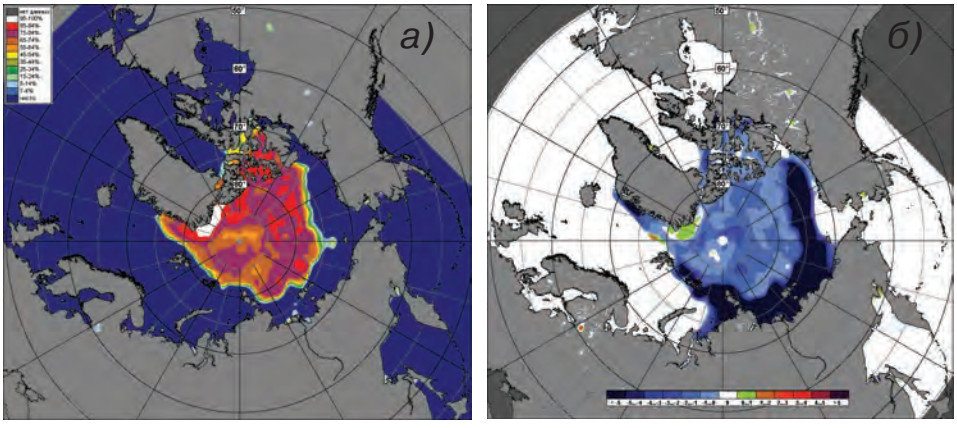


Рис. 2.4.3. Медианное распределение сплоченности льда в октябре 2016 г. (*а*) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I, алгоритм NASATEAM.

Канадский антициклонический круговорот был развит слабо, размыт и наблюдался в виде большого, плохо выраженного вихря с центром над Канадским Арктическим архипелагом. В результате смещения центра круговорота на архипелаг его периферийная ветвь вливалась в поток Трансарктического переноса, обусловливая общий вынос льдов из окраинных морей и центральной части СЛО к Гренландии (рис. 2.4.2).

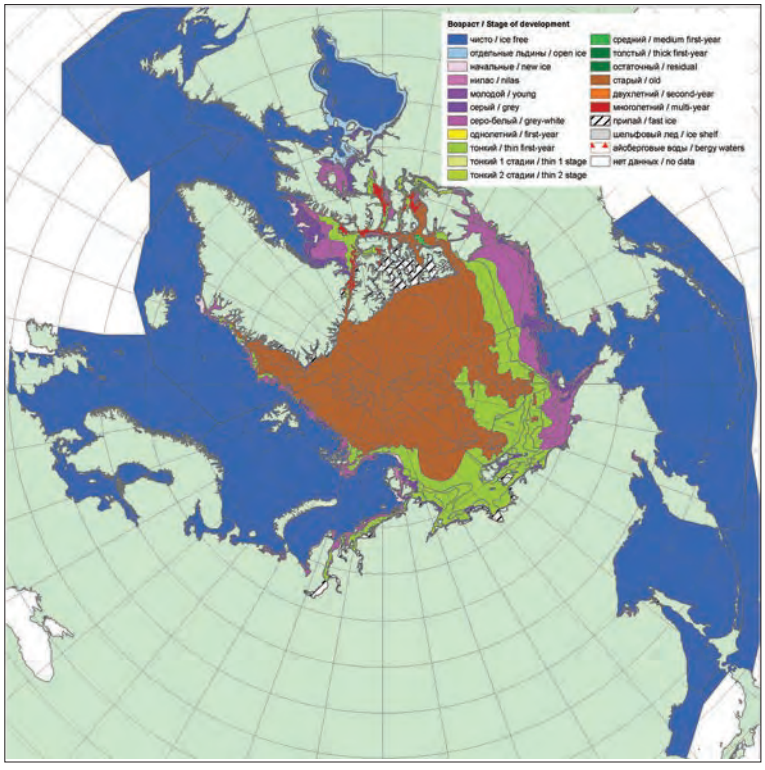


Рис. 2.4.4. Обзорная ледовая карта за 14—15 ноября 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

В поле сплоченности ледяного покрова сформировались две хорошо выраженные зоны сплоченности. Зона пониженной сплоченности наблюдалась практически по всей акватории СЛО вследствие выноса льда к Гренландии и во всех окраинных морях (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.4.3 *б*).

Зона повышенной сплоченности наблюдалась у побережья Гренландии, куда был направлен общий дрейф льдов (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.4.3 *б*).

В октябре осенние ледовые процессы развивались медленно и не очень интенсивно.

В ноябре интенсивность ледообразования и нарастания льда возросла как в самом бассейне, так и в ряде окраинных морей, кроме Баренцева, Карского и Чукотского. Интенсивность нарастания льда хорошо прослеживалась по появлению однолетних тонких льдов на акватории морей. Если в начале ноября в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и в северной части моря Бофорта преобладали молодые льды, то в середине ноября на значительной части акватории этих морей наблюдались уже однолетние тонкие льды (диапазон толщины 30—70 см).

Общее количество льдов, появившихся в СЛО с середины октября по середину ноября, составило приблизительно 2,2 млн км^2, что очень близко к среднему многолетнему значению (на 0,1 млн км^2 больше среднего многолетнего значения).

Началось становление припая между островами Канадского Арктического архипелага.

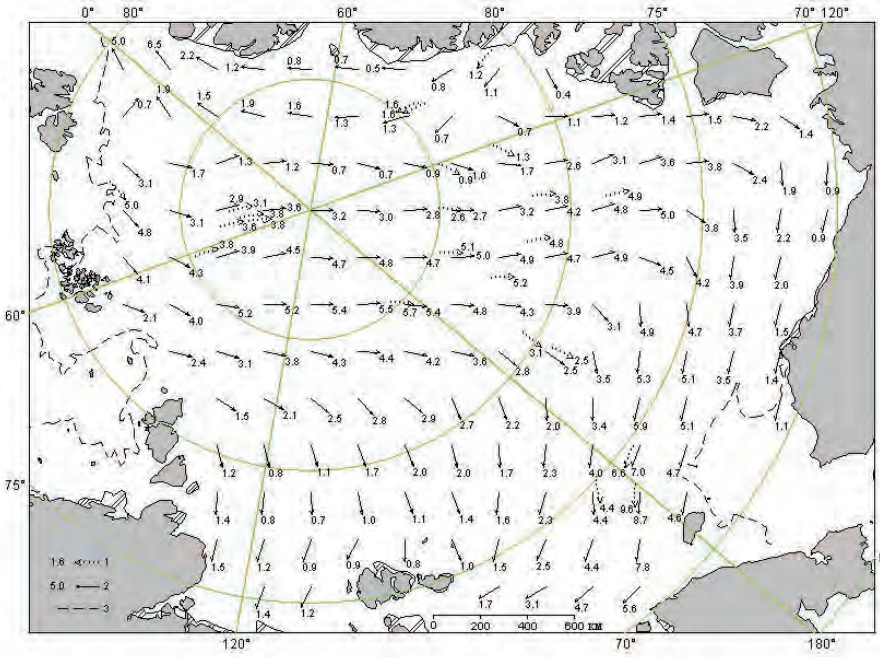


Рис. 2.4.5. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в ноябре 2016 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.4.2.

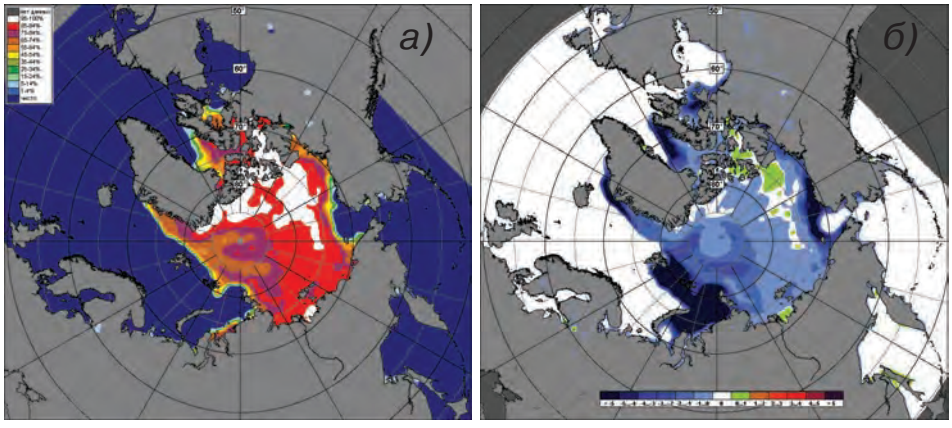


Рис. 2.4.6. Медианное распределение сплоченности льда в ноябре 2016 г. (*а*) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I, алгоритм NASATEAM.

Зоны преобладания старых льдов занимали весь приполюсный район, гренландский и канадский секторы Арктики. Два 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 60 % площади СЛО (рис. 2.4.4).

В ноябре наблюдалось необычное развитие Трансарктического переноса, стрежень которого сместился к западу. Перенос брал начало в северных частях Карского

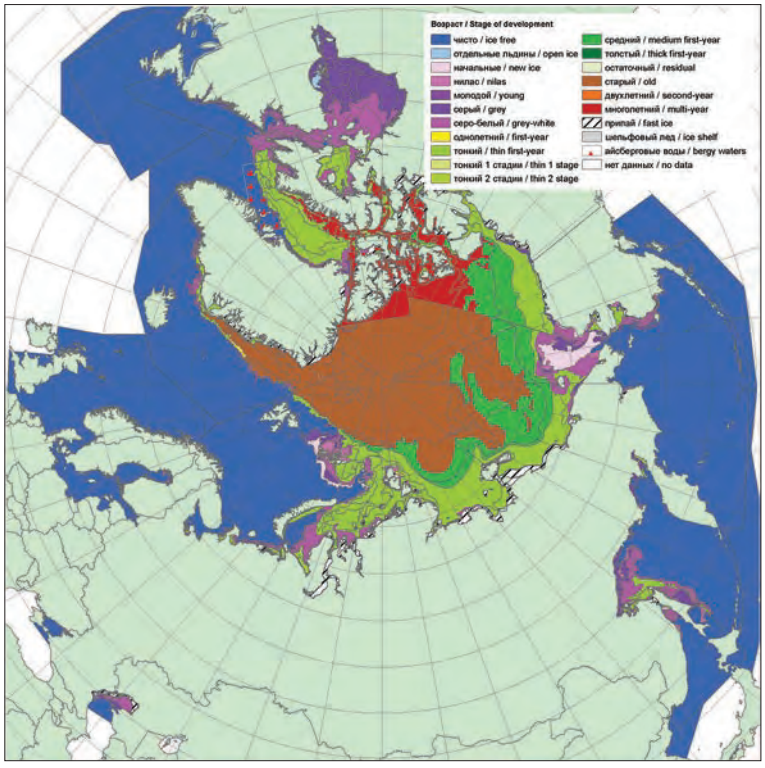


Рис. 2.4.7. Обзорная ледовая карта за 19—20 декабря 2016 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США.

и Баренцева морей. В результате смещения стрежня Трансарктического переноса к западу и изменения его направления льды выносились из морей Баренцева и Карского в море Бофорта. Канадский антициклонический круговорот полностью отсутствовал (рис. 2.4.5).

Возросшая в ноябре интенсивность увеличения общего количества льда в СЛО и развитый Трансарктический перенос льда привели к формированию обширной положительной аномалии сплоченности, наблюдаемой в море Бофорта у побережья Аляски (зона, выделенная зеленым цветом на рис. 2.4.6 *б*). Отрицательная аномалия сплоченности наблюдалась в западных морях СЛО (Гренландском, Баренцевом, Карском), откуда лед выносило в результате дрейфа (зона, выделенная синим цветом на рис. 2.4.6 *б*).

В декабре наблюдалось увеличение интенсивности нарастания ледяного покрова и дальнейшее увеличение его толщины.

Количество молодых льдов, появившихся в СЛО и его морях с середины ноября по середину декабря, составило около 1,95 млн км^2 (на 0,65 млн км^2 больше среднего многолетнего значения).

В середине декабря большие участки акватории Баренцева моря и юго-западной части Карского моря еще оставались свободными от льда. В северной части Баренцева моря и юго-западной части Карского преобладали молодые льды. На акватории остальных арктических морей, начиная с северо-восточной части Карского

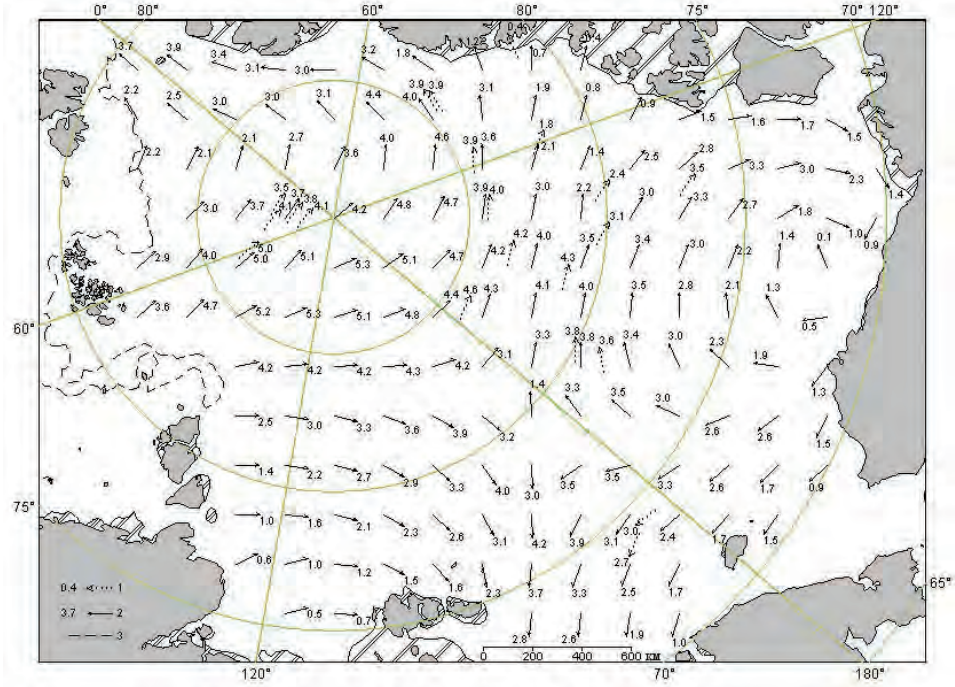


Рис. 2.4.8. Поле скорости результирующего дрейфа льда (км/сут) в декабре 2016 г.

Усл. обозначения см. рис. 2.4.2.

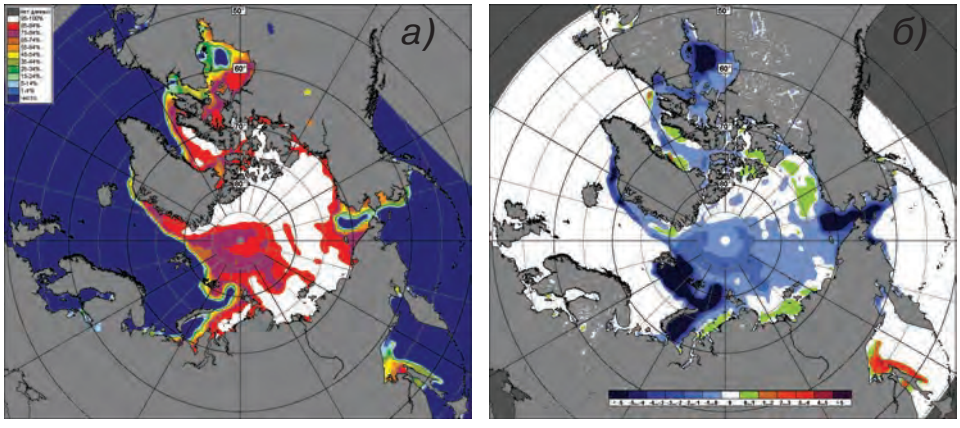


Рис. 2.4.9. Медианное распределение сплоченности льда в декабре 2016 г. (*а*) и ее разности относительно медианного распределения за тот же месяц за период 1979—2016 гг. (*б*) на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I, алгоритм NASATEAM.

моря и далее на восток, наблюдалось преобладание однолетнего тонкого льда (диапазон толщины 30—70 см). Только в северных частях морей наблюдался переход однолетних тонких 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 (рис. 2.4.7).

В поле дрейфа сложилась сложная схема дрейфа, состоящая из старой структуры, наблюдавшейся в предшествующий период, и развивающегося Канадского антициклонического круговорота с центром, расположенным над морем Бофорта.

Наблюдавшийся в ноябре Трансарктический перенос льда со стрежнем, смещенным к западу от своего обычного положения, который выносил льды из северных частей Баренцева и Карского морей в море Бофорта, начал трансформироваться. В приполюсном районе перенос разделился на два потока, один из которых вливался в северную ветвь Канадского антициклонического круговорота, а второй — в его южную ветвь. Таким образом, прослеживались два хорошо выраженных потока переноса льда. Один поток был направлен к побережью Канадского Арктического архипелага и Гренландии, а второй — в Восточно-Сибирское море, обусловливая адвекцию льда в это море (рис. 2.4.8).

В поле сплоченности отрицательные аномалии (зоны, выделенные синим цветом на рис. 2.4.9 *б*) сохранялись в западных морях российского сектора Арктики. Одновременно отмечалось формирование нескольких зон положительной сплоченности, связанных с адвекцией льда в эти районы. Зоны положительной сплоченности наблюдались у побережья Гренландии, в морях Бофорта и Восточно-Сибирском (зоны, выделенные зеленым цветом на рис. 2.4.9 *б*).

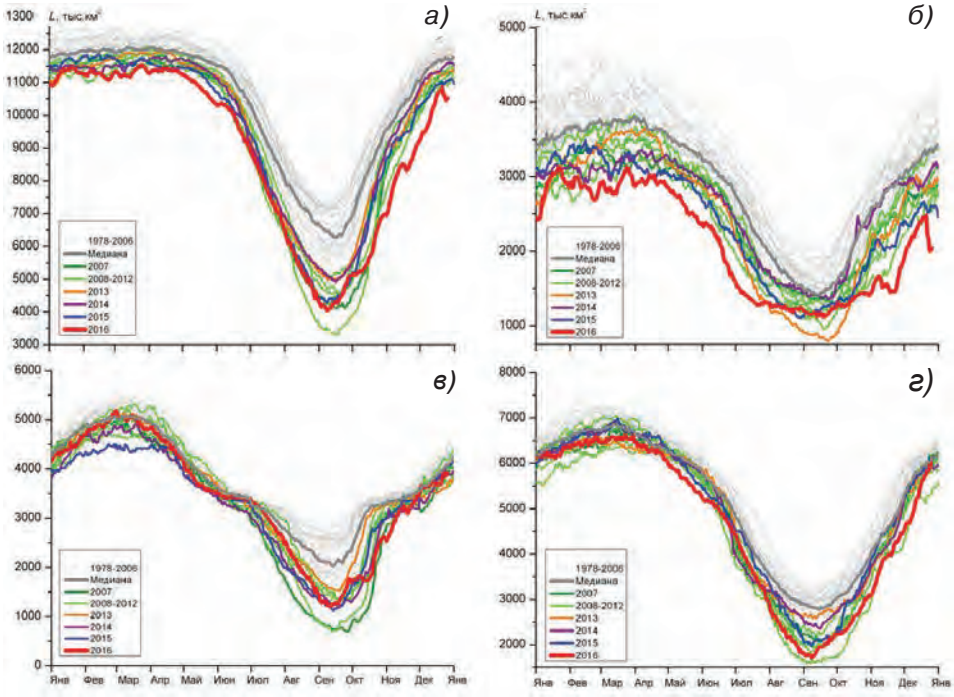


Рис. 2.4.10. Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северной полярной области и трех меридиональных секторов за период с 26 октября 1978 г. по 27 декабря 2016 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS–AMSR2, алгоритмы NASATEAM/BOOTSTRAP.

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).

На рис. 2.4.10 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и его отдельных секторов (за период с октября 1978 г. по декабрь 2016 г.) по годам на основе расчетов по данным SSMR — SSM/I, алгоритм NASATEAM.

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в Северном Ледовитом океане в конце декабря 2016 г. составила 10,65 млн км^2 при норме 11,09 млн км^2, т.е. была на 8,3 % меньше средних многолетних значений.

Сезонный ход ледовитости в СЛО показывает, что общее количество льдов в течение всего года было устойчиво меньше средних многолетних значений. В период май — июнь и ноябрь — декабрь наблюдались абсолютные минимумы ледовитости за весь ряд наблюдений. Однако в летний период общая площадь льдов существенно (на 0,5—1,0 млн км^2) превышала ледовитость, наблюдавшуюся в аномально легких по ледовым условиям 2007 и 2012 гг., став, таким образом, третьей по рангу в группе легких лет.

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 западного меридионального сектора 95° в.д. — 170° з.д. (Гренландское, Баренцево, Карское). Количество льдов в этом секторе в апреле — июле, а также в ноябре —декабре 2016 г. достигло очередных исторических минимумов (см. рис. 2.4.10).

Однако в другом секторе Арктики — в восточном секторе 95°в.д. — 170°з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское) — общее количество льда в весенний и осенний сезоны года вплотную приближалось к средним многолетним значениям.

Развитие ледовых условий в 2016 г. сохранило тенденцию, наблюдавшуюся в последние несколько лет. После формирования аномально легких ледовых условий в 2012 г. в последующие четыре года наблюдалось развитие умеренно малой 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 25—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: на реках Таз и Енисее (п. Дудинка) в январе, на реке

Оби в феврале, на реке Енисее в пунктах Игарка и Караул в январе и феврале соответственно. В апреле нарастание льда продолжалось во всех пунктах.

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

Таблица 2.5.1

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

Река	Пункт	31 января		29 февраля		31 марта		30 апреля	
		H см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см
Обь	Салехард	54	+9	67	+13	71	+4	73	+2
Таз	Тазовское	79	+15	83	+4	90	+7	100	+10
Енисей	Игарка	57	+20	77	+20	89	+12	92	+3
	Дудинка	68	+19	83	+15	94	+11	107	+13
	Караул	67	+9	76	+9	83	+7	87	+4

В табл. 2.5.2 приведены аномалии толщины льда по вышеуказанным пунктам на конец апреля, т.е. в период, близкий к периоду максимального нарастания льда. Толщина льда на устьевых участках рек бассейна Карского моря повсеместно оказалась меньше средних многолетних значений на 5—50 см.

Таблица 2.5.2

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина, см		
		2016 г.	Средняя	Аномалия
Обь	Салехард	73	102	–29
Таз	Тазовское	100	137	–37
Енисей	Игарка	92	97	–5
	Дудинка	107	131	–24
	Караул	87	137	–50

В конце апреля в рассматриваемых пунктах наблюдалась следующая высота снега на льду: 16—20 см в устьевой части реки Оби, 36—50 см на реке Таз и 5—50 см в устьевой части реки Енисея.

В табл. 2.5.3 приведены данные об увеличении толщины льда ежемесячно с января по май на устьевых взморьях рек Оби и Енисея по данным полярных станций.

Таблица 2.5.3

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

Устьевое взморье	Пункт	31 января		29 февраля		31 марта		30 апреля		31 мая	
		H см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см
Обская губа	Новый Порт	99	+26	112	+13	124	+12	130	+6	129	–1
Енисейский залив	Сопочная Карга	81	+15	91	+10	102	+11	110	+8	111	+1

Наибольшее нарастание льда наблюдалось в Обской губе и в Енисейском заливе в январе. В конце мая в Енисейском заливе было отмечено незначительное таяние льда.

В табл. 2.5.4 приведены аномалии толщины льда на устьевом взморье рек Оби и Енисея на конец апреля, т. е. период, близкий к периоду максимального нарастания льда.

Таблица 2.5.4

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

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2016 г.	Среднее	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	130	139	–9
Енисейский залив	Сопочная Карга	110	167	–57

Толщина льда в конце апреля на устьевом взморье рек Оби и Енисея была меньше средних многолетних значений на 9 и 57 см соответственно.

Высота снега на льду в конце апреля составила 20—29 см в п. Сопочная Карга и 30—39 см в п. Новый Порт.

Характеристика процесса вскрытия

Признаком начала разрушения льда весной является образование закраин. В 2016 г. на устьевых участках рек бассейна Карского моря закраины появились в следующие сроки: на реке Оби в начале первой декады мая, на реках Таз и Енисее в п. Игарка в конце второй декады мая, на реке Енисее в п. Дудинка и п. Караул в третьей декаде мая.

Подвижки льда были зафиксированы на устьевом участке реки Енисея с 26 мая по 6 июня. На устьевых участках рек Оби и Таз подвижек не наблюдалось.

На реке Таз 6 июня был отмечен затор льда выше поста.

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

Весенний ледоход начался на устьевых участках рек Оби и Таз на 5—10 дней раньше нормы, на устьевом участке реки Енисея — в сроки, примерно соответствующие норме.

Таблица 2.5.5

Сроки вскрытия и очищения на устьевых участках рек

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь	Салехард	16 V	26 V	–10	22 V	1 VI	–10
Таз	Тазовское	6 VI	11 VI	–5	8 VI	15 VI	–7
Енисей	Игарка	29 V	28 VI	+1	6 VI	8 VI	–2
	Дудинка	5 VI	4 VI	+1	10 VI	11 VI	–1
	Караул	30 V	9 VI	–10	5 VI	16 VI	–11

Продолжительность весеннего ледохода на устьевых участках рек бассейна Карского моря составила 2—8 дней.

Очищение от льда произошло на 7—10 дней раньше средних многолетних сроков на реках Оби и Таз. На реке Енисее очищение произошло в сроки, близкие к средним многолетним.

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

Таблица 2.5.6

Сроки вскрытия и очищения на устьевых взморьях рек Оби и Енисея

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Взлом припая	7 VI	20 VI	–13
		Очищение от льда	18 VI	1 VII	–13
Енисейский залив	Сопочная Карга	Взлом припая	–	21 VI	–
		Очищение от льда	18 VI	24 VI	–6

Взлом припая устьевых взморий рек Оби и Енисея и очищение от льда произошли раньше нормы на 6—13 дней. В Енисейском заливе взлом припая не отмечался, так как наблюдался подход языка вытаивания со стороны стационарной Обь-Енисейской заприпайной полыньи. Продолжительность ледохода в Обской губе в районе п. Новый Порт составила 11 дней

Характеристика процесса замерзания

Замерзание крупных рек бассейна Карского моря часто начинается с появления заберегов. В 2016 г. на устьевых участках крупных рек сроки появления заберегов зафиксированы позже нормы на 4—17 дней. Устойчивое появление плавучего льда произошло позже нормы на 3—11 дней. Сроки становления ле-

Таблица 2.5.7

Сроки наступления ледовых явлений и их аномалии на устьевых участках рек

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2016 г.	Средняя	Аномалия, сут	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь, Салехард	4 XI	18 X	+17	29 X	24 X	+5	5 XI	29 X	+7
Таз, Тазовское	14 X	10 X	+4	19 X	12 X	+7	20 X	14 X	+6
Енисей, Игарка	–	17 X	–	20 X	17 X	+3	28 X	23 X	+5
Енисей, Дудинка	28 X	16 X	+12	28 X	17 X	+11	30 X	24 X	+6
Енисей, Караул	17 X	12 X	+5	27 X	19 X	+8	28 X	24 X	+4

достава отмечены во всех пунктах также позже средних многолетних значений на 4—7 дней. Продолжительность периода с плавучим льдом составила от одного дня (п. Тазовское, п. Караул) до восьми дней (п. Игарка).

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

В табл. 2.5.8 приведены сроки замерзания устьевого взморья рек Оби и Енисея по данным стационарной сети.

Таблица 2.5.8

Сроки наступления ледовых явлений на устьевых взморьях рек Оби и Енисея

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Устойчивое появление плавучего льда	18 X	11 X	+7
		Полное замерзание	4 XI	16 X	+19
Енисейский залив	Сопочная Карга	Устойчивое появление плавучего льда	27 X	10 X	+17
		Полное замерзание	3 XI	23 X	+11

На устьевом взморье замерзание происходило позже средних многолетних дат на 7—17 дней. Продолжительность периода с плавучим льдом составила 7—17 дней.

Нарастание льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.9 приведены данные о нарастании льда за ноябрь — 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 (Δ*H*) в осенне-зимний период на устьевых участках рек

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см
Обь	Салехард	–	37	+37	64	+27
Таз	Тазовское	14	58	+44	79	+21
Енисей	Игарка	–	30	+30	72	+42
	Дудинка	–	35	+35	81	+46
	Караул	–	28	+28	51	+23

Таблица 2.5.10

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2016 г.	Среднее	Аномалия
Обь	Салехард	64	64	0
Таз	Тазовское	79	78	+1
Енисей	Игарка	72	59	+13
	Дудинка	81	73	+8
	Караул	51	88	–37

Наибольшее нарастание льда наблюдалось на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисея (п. Караул) в ноябре, на участке реки Енисея (п. Игарка и Дудинка) в декабре.

Толщина льда в конце декабря 2016 г. на устьевых участках рек Оби и Таз соответствовала средним многолетним значениям, на реке Енисее в пунктах Игарка и Дудинка превысила норму на 8—13 см, в районе п. Караул меньше нормы на 37 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от 11 см (п. Салехард и п. Караул) до 35 см (п. Тазовское).

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

Наибольшее нарастание льда на устьевых взморьях рек Оби и Енисея в осенне-зимний период отмечено в ноябре.

Таблица 2.5.11

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

Устьевое взморье	Пункт	30 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см
Обская губа	Новый Порт	–	41	+41	79	+38
Енисейский залив	Сопочная Карга	10	65	+55	87*	+22

Примечание. Здесь и далее звездочкой отмечено расчетное значение между предыдущим и последующим замерами.

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		
		2016 г.	Средняя	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	79	79	0
Енисейский залив	Сопочная Карга	87*	99	–12

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

Нарастание льда в зимне-весенний период

Наибольшее нарастание льда на устьевых участках рек Хатанги и Оленёк отмечено в феврале, а на реках Лене и Яне — в январе. В апреле наблюдалось продолжение нарастания льда на реках Оленёк, Лене и Яне, тогда как на реке Хатанге лед таял.

Таблица 2.5.13

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

Река, пункт	31 января		29 февраля		31 марта		30 апреля	
	H см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см
Хатанга, Хатанга	115	+19	136	+21	149	+13	141	–8
Оленёк, Тюмети	80	+10	96	+16	98	+2	100	+2
Оленёк, Усть-Оленёк	100	+16	119	+19	127	+8	145	+18
Лена, Кюсюр	116	+17	132	+16	134	+2	137	+3
Лена, Хабарово	150	+36	170	+20	188	+18	201	+13
Яна, Юбилейная	102	+23	115	+13	128	+13	132	+4

В табл. 2.5.13 приведены данные о нарастании льда на конец месяца в зимне-весенний период.

Таблица 2.5.14

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2016 г.	Среднее	Аномалия
Хатанга	Хатанга	141	151	–10
Оленёк	Тюмети	100	138	–38
	Усть-Оленёк	145	191	–46
Лена	Кюсюр	137	175	–38
	Хабарово	201	225	–24
Яна	Юбилейная	132	152	–20

В табл. 2.5.14 приведены аномалии толщины льда на конец апреля, т.е. в период, близкий к периоду максимального нарастания льда.

Толщина льда в апреле повсеместно была меньше нормы: от 10 см в устьевой части реки Хатанги до 38—46 см в устье реки Оленёк.

Высота снега на льду в конце апреля в устьевой части рек Хатанги и Оленёк составляла 26—35 см, реки Лены — 5—20 см, реки Яны — 21—25 см.

Характеристика процесса вскрытия

В 2016 г. на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых появление закраин было отмечено в последней декаде мая на реках Хатанге, Яне и Лене, а на реке Оленёк (п. Усть-Оленёк) — в первой декаде июня. Процесс вскрытия сопровождался образованием заторов на устьевых участках реки Оленёк (п. Тюмети) с 3 по 8 июня, на реке Лене (в п. Кюсюр) с 29 по 31 мая. На реке Хатанге затор отмечен 9 июня.

В табл. 2.5.15 приведены сроки вскрытия устьевых участков рек Хатанги, 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		
		2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2016 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 Хатанги, Лены и Оленёк (п. Усть-Оленёк) начался раньше средних многолетних сроков на 3—4 дня. На устьевой части рек Яны и Оленёк (п. Тюмети) сроки весеннего ледохода были близки к норме. Продолжительность ледохода составила на реке Хатанге 4 дня, на реке Оленёк 3—6 дней, на реке Лене 6—8 дней, на реке Яне 5 дней.

Очищение от льда устьевых участков рек произошло на 4—6 дней раньше средних многолетних сроков (на реке Яне — в срок, близкий к норме).

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 и Лены (п. Кюсюр) началось с появления заберегов в сроки, близкие к средним многолетним. В табл. 2.5.16 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений в 2016 г. и их аномалии.

Таблица 2.5.16

Характеристики ледовых условий в осенний период на устьевых участках рек

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2015 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга, Хатанга	6 X	–	–	6 X	2 X	+4	16 X	4 X	+12
Оленёк, Тюмети	28 IX	27 IX	+1	30 IX	1 X	–1	11 X	9 X	+2
Оленёк, Усть-Оленёк	1 X	2 X	–1	9 X	1 X	+8	13 X	5 X	+8
Лена, Кюсюр	9 X	8 X	+1	10 X	8 X	+2	25 X	22 X	+3
Быковская протока р. Лены, Хабарово	18 X	8 X	+10	13 X	11 X	+2	25 X	18 X	+7
Яна, Юбилейная	13 X	28 IX	+15	3 X	1 X	+2	14 X	7 X	+7

Из таблицы видно, что устойчивое появление плавучего льда осенью 2016 года на реках Оленёк (п. Тюмети), Лене и Яне проходило в сроки, близкие к средним многолетним. В районе рек Хатанги и Оленёк (п. Усть-Оленёк) появление плавучего льда отмечено на 4—8 дней позднее по сравнению с нормой.

Продолжительность периода с плавучим льдом различна — от четырех дней на реке Оленёк (п. Усть-Оленёк) до 15 дней на реке Лене (п. Кюсюр).

Ледостав на устьевых участках рек Хатанги, Оленёк (п. Усть-Оленёк), Лены (п. Хабарово) и Яны наблюдался на 7—12 дней позже нормы, а на участках реки Оленёк (п. Тюмети) и реки Лены (п. Кюсюр) — в сроки, близкие к средним многолетним.

Нарастание льда в осенне-зимний период

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

Наибольшее нарастание льда в осенне-зимний период на устьевом участке реки Лены отмечено в ноябре (55 см). По данным наблюдений наибольшее нарастание на устьевых участках рек Хатанги, Оленёк и Яны отмечено в декабре (33—46 см).

Таблица 2.5.17

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

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см
Хатанга	Хатанга	22*	54	+32	92*	+38
Оленёк	Тюмети	23	40	+17	79	+39
	Усть-Оленёк	25	43	+18	89	+46
Лена	Кюсюр	–	55	+55	95	+40
	Хабарово	–	55	+55	90	+35
Яна	Юбилейная	11*	28	+17	61	+33

Примечание. Здесь и далее звездочкой отмечено расчетное значение между предыдущим и последующим замерами.

Таблица 2.5.18

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2016 г.	Средняя	Аномалия
Хатанга	Хатанга	92*	92	0
Оленёк	Тюмети	79	83	–4
Оленёк	Усть-Оленёк	89	100	–11
Лена	Кюсюр	95	85	+10
Лена	Хабарово	90	123	–33
Яна	Юбилейная	61	76	–15

В районе устьевого участка реки Хатанги толщина льда в конце декабря 2016 г. соответствовала норме, на устьевых участках рек Оленёк, Лены (п. Хабарово) и Яны была меньше нормы на 4—33 см, а на участке реки Лены (п. Кюсюр) — на 10 см больше среднемесячного значения.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составляла: 11—15 см на реке Лене, 5—25 см на реке Оленёк и 26—35 см на реке Яне.

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 наблюденной толщине льда и о его нарастании на конец месяца в зимне-весенний период на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря.

Таблица 2.5.19

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

Река	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см
Индигирка	Чокурдах	109	+23	124	+15	134	+10	140	+6
Колыма	Колымское	83	+28	98	+15	102	+4	101	–1
	Черский	70	+20	88	+18	102	+14	108	+6

Таблица 2.5.20

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках крупных рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2016 г.	Среднее	Аномалия
Индигирка	Чокурдах	142	167	–25
Колыма	Колымское	85	140	–55
	Черский	116	142	–26

Максимальное нарастание льда в устьевой части Восточно-Сибирского моря наблюдалось в январе. Нарастание льда продолжалось до конца апреля повсюду, кроме п. Колымское, где в апреле отмечено незначительное таяние.

В табл. 2.5.20 приведены толщина льда и ее аномалии в период, близкий к периоду максимального нарастания льда, — конец апреля.

Толщина льда в конце апреля на устьевых участках рек Индигирки и Колымы была меньше нормы на 27—39 см.

Высота снега на льду в конце апреля на реке Колыме составляла 21—35 см, а на реке Индигирке — 5—10 см.

Характеристика процесса вскрытия

Закраины и первые подвижки льда на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря были отмечены в конце второй и в третьей декаде мая.

Заторы наблюдались на реке Колыме (в пункте Колымское) с 24 по 26 мая. На реке Индигирке заторы отмечены 2—3 июня.

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

Таблица 2.5.21

Сроки вскрытия и очищения рек на устьевых участках

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2016 г.	Средняя	Аномалия, сут	2016 г.	Средняя	Аномалия, сут
Индигирка	Чокурдах	2 VI	7 VI	–5	6 VI	10 VI	–4
Колыма	Колымское	24 V	30 V	–6	29 V	4 VI	–6
	Черский	26 V	2 VI	–7	3 VI	9 VI	–6

Весенний ледоход начался на 5—7 дней раньше нормы. Продолжительность весеннего ледохода составила четыре дня в устьевой части реки Индигирки и 5—8 дней на реке Колыме.

Очищение от льда устьевой части реки Индигирки происходило на четыре дня раньше нормы, устьевой части реки Колымы — на шесть дней раньше нормы.

Характеристика процесса замерзания

В табл. 2.5.22 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений в 2016 г. и их аномалии.

Плавучий лед на устьевых участках рек Индигирки и Колымы появился на 8—10 дней позже средних многолетних значений. Становление ледостава произошло на 9—13 дней позже нормы.

Продолжительность периода с плавучим льдом составила 5—6 дней.

Таблица 2.5.22

Характеристика ледовых условий в осенний период на устьевых участках рек

Река, пункт	Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2016 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Индигирка, Чокурдах	13 X	5 X	+8	18 X	9 X	+9
Колыма, Колымское	18 X	8 X	+10	23 X	12 X	+11
Колыма, Черский	17 X	7 X	+10	23 X	10 X	+13

Нарастание льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.23 приведены данные о нарастании льда на устьевых участках рек Индигирки и Колымы за ноябрь — декабрь, а в табл. 2.5.24 — аномалии толщины льда в декабре по отношению к среднему многолетнему значению.

Таблица 2.5.23

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

Река	Пункт	31 октября		30 ноября		31 декабря	
		H см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см	*H* см	Δ*H* см
Индигирка	Чокурдах	–	30	+30	69*	+39	20
Колыма	Колымское	–	31	+31	57*	+26	21
	Черский	–	25	+25	45*	+20	27

Максимальное нарастание льда на устьевом участке реки Колыма отмечено в ноябре, на устьевом участке реки Индигирка — в декабре.

Таблица 2.5.24

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2016 г.	Среднее	Аномалия
Индигирка	Чокурдах	69*	91	–22
Колыма	Колымское	57*	74	–17
	Черский	45*	69	–24

В конце декабря толщина льда на устьевых участках рек Индигирки и Колымы была на 17—24 см меньше нормы.

Высота снега на льду в п. Колымское на конец декабря составляла 21—25 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 2016 г. выполнен на основании океанографических данных автономных дрейфующих комплексов ITP (Ice-Tethered Profiler), пополнивших базу данных термохалинных характеристик (БДТХ) отдела океанологии ААНИИ. Всего в 2016 г. в БДТХ была загружена информация с девяти ITP, оснащенных профилографами, обеспечивающими непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760-метрового слоя вод (табл. 3.1.1, рис. 3.1.1).

Таблица 3.1.1

Сведения о наблюдениях за температурой и соленостью воды, выполненных на акватории СЛО в 2016 г. и загруженных в БДТХ отдела океанологии ААНИИ

№ п/п	Экспедиция	Дата станции		Число станций
		первой	последней	
1	ITP-82	01.01.2016	30.06.2016	1054
2	ITP-89	01.01.2016	08.05.2016	258
3	ITP-90	01.01.2016	05.03.2016	127
4	ITP-91	01.01.2016	16.02.2016	94
5	ITP-92	01.01.2016	22.02.2016	604
6	ITP-93	01.01.2016	29.12.2016	1286
7	ITP-97	02.10.2016	29.12.2016	176
8	ITP-98	29.09.2016	07.12.2016	179
9	ITP-99	01.10.2016	29.12.2016	177

Большая часть представленной информации в 2016 г. была получена на акватории глубоководной части СЛО.

Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО в 2016 г. был осуществлен анализ вертикального распределения температуры и солености воды в предварительно выделенных группах океанографических станций: ITP 90, 93 в Евразийском суббасейне и ITP 89, 97 и 99 в Канадской глубоководной котловине (рис. 3.1.1). В каждой группе станций рассчитывались основные статистические характеристики (среднее, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения) вертикальных профилей температуры и солености 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 областью расположения океанографических станций, данные которых использовались для анализа в 2016 г.

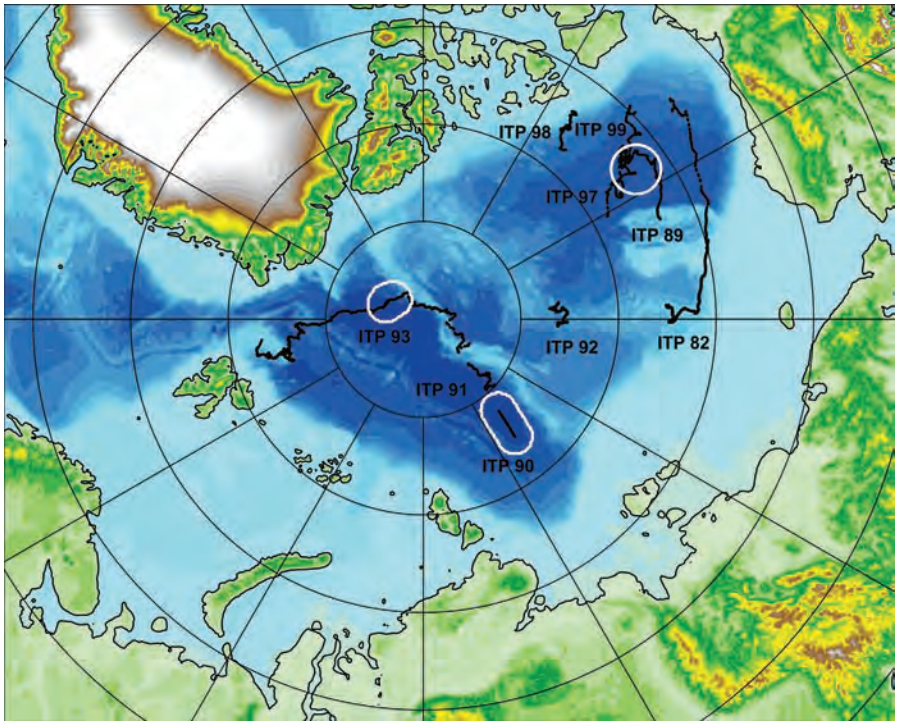


Рис. 3.1.1. Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО в 2016 г. и используемых для анализа термохалинных условий.

Амеразийский суббассейн

В 2016 г. распределение термохалинных характеристик по глубине в Канадской глубоководной котловине по данным ITP 89, 97 и 99 демонстрировало наблюдающееся на протяжении последних нескольких лет аномальное состояние относительно средних климатических значений.

В первом квартале 2016 г. поверхностный слой был существенно распреснен (27,2 ‰) по сравнению с климатической нормой (29,5 ‰). Значение аномалии поверхностной солености составило –2,3 ‰ (рис. 3.1.2). В аналогичный период 2015 г. отрицательная аномалия поверхностной солености была больше и составила –3 ‰. Температура верхнего перемешанного слоя колебалась около значения –1,5 °С и незначительно превышала климатическое среднее вследствие повышения температуры замерзания воды из-за наличия распресненного слоя.

Во втором квартале 2016 г. значение отрицательной аномалии поверхностной солености несколько увеличилось и составило –2,7 ‰ (рис. 3.1.3), что на 0,2 ‰ больше по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Температура верхнего перемешанного слоя, как и в первом квартале, колебалась около значения –1,5 °С.

Отсутствие данных натурных наблюдений за третий квартал 2016 г. не позволило провести анализ термохалинного состояния водной толщи в Амеразийском суббассейне за этот период. В результате для объективного анализа состояния Амеразийского суббассейна в 2016 г. были дополнительно проанализированы дан-

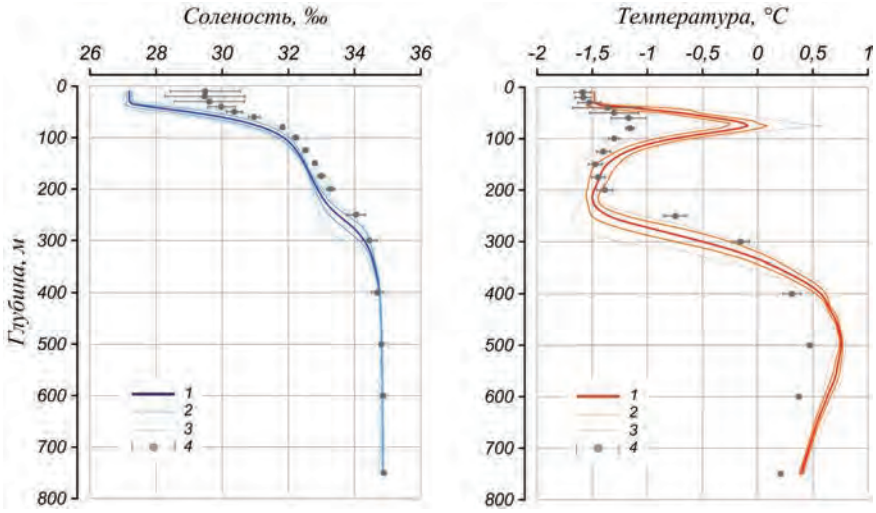


Рис. 3.1.2. Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в январе — марте 2016 г. по результатам измерений профилографа ITP 89.

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.

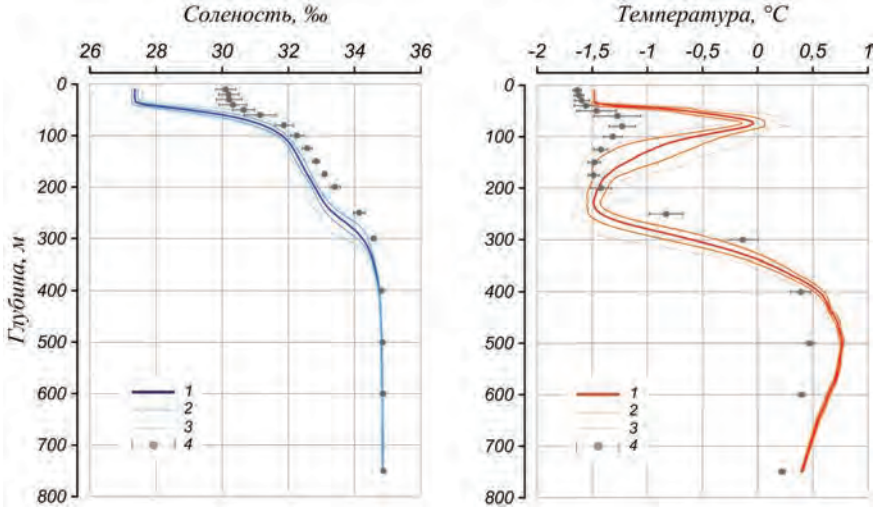


Рис. 3.1.3. Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в апреле — июне 2016 г. по результатам измерений профилографа ITP 89.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

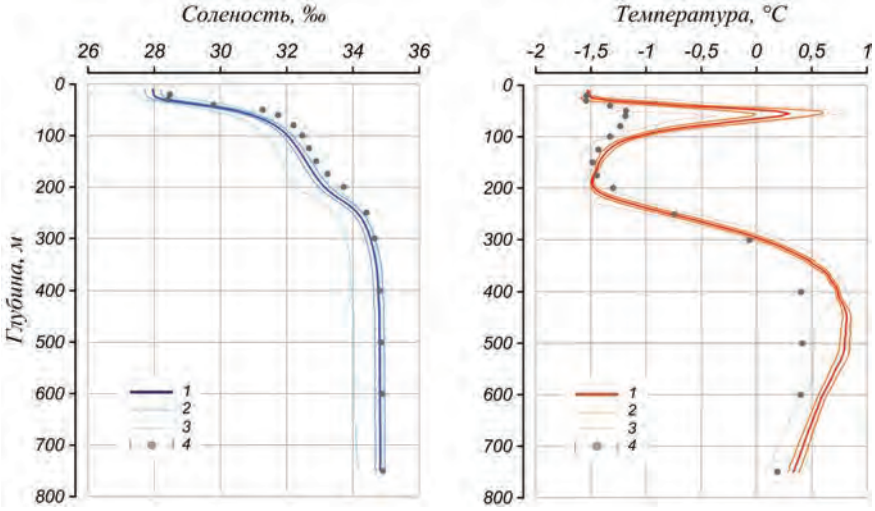


Рис. 3.1.4. Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в октябре — декабре 2016 г. по результатам измерений профилографов ITP 89, 97 и 99.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

ные, полученные в четвертом квартале 2016 г. По данным за октябрь — декабрь 2016 г. температура поверхностного слоя составила –1,5 °С, а соленость — 27,9 ‰ (рис. 3.1.4). Средние климатические значения для поверхностного слоя рассчитаны не были из-за недостаточного количества натурных данных.

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 соленостью от 31 до 33 ‰. Среднее значение температуры слоя ЛТВ в 2016 г. достигло 0,3 °С (см. рис. 3.1.2—3.1.4), что почти на 1,5 °С выше климатической нормы. Максимальное значение температуры ЛТВ превысило 0,8 °С. Так же как и в предыдущие годы, отмечалось увеличение глубины залегания нижней границы ЛТВ, которая составила 160—180 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 соленостью, равной 33,1 ‰, которая наблюдается в ядре данной прослойки.

Характерной особенностью последних лет является заглубление ядра зимних тихоокеанских вод. По данным ITP 89, ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 220—230 м, в то время как среднее климатическое значение составляет 150—160 м.

На глубине более 210 м в Канадской глубоководной котловине наблюдается постепенное повышение температуры воды, обусловленное теплоотдачей атлантической водной массы (АВ). Верхняя граница слоя данной прослойки (0 °С) в 2016 г. располагалась на глубине 330 м. Максимальное значение температуры воды в ядре

АВ составило 0,82 °С, что на 0,3—0,4 °С выше климатической нормы (рис. 3.1.2—3.1.4). Полученные оценки аномалий температуры воды в 2016 г. практически полностью соответствуют значениям, полученным для предшествующего 2015 г., что свидетельствует об отсутствии как положительного, так и отрицательного тренда температуры АВ в СЛО.

Евразийский суббассейн

Поверхностный слой в котловине Амундсена Евразийского суббассейна в первом квартале 2016 г. по данным ITP 90 характеризовался высокой положительной аномалией солености, прослеживающейся до глубины 250—300 м (рис. 3.1.5). Соленость поверхностного слоя составила 32,6 ‰, превысив климатическое среднее на 0,9 ‰. В 2015 г. максимальная аномалия солености поверхностного слоя в котловине Амундсена была выше и составляла 1,9 ‰. Температура поверхностного слоя воды (–1,79 °С) была в пределах нормы.

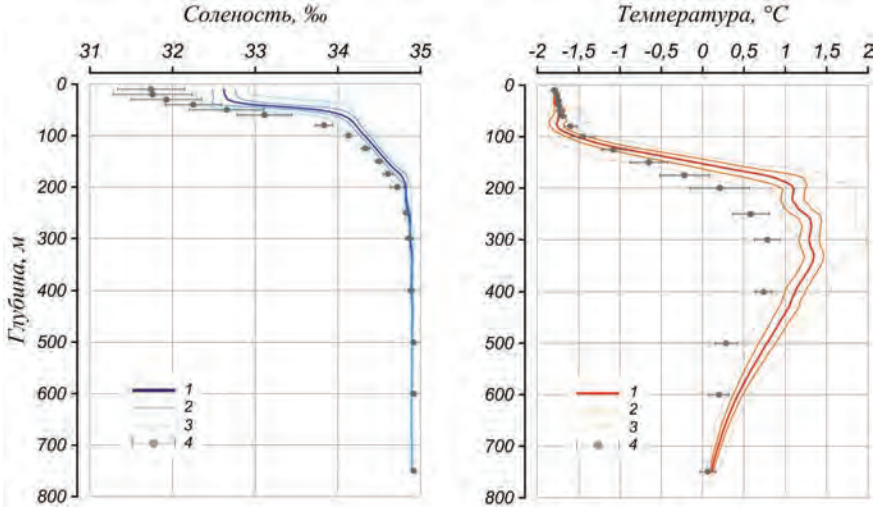


Рис. 3.1.5. Вертикальное распределение солености и температуры воды в котловине Амундсена в январе — марте 2016 г. по результатам измерений профилографа ITP 90.

Усл. обозначения см. рис. 3.1.2.

Анализ вертикального распределения солености в котловине Амундсена Евразийского суббассейна во втором и третьем кварталах 2016 г. не может быть выполнен вследствие недостоверности данных, полученных датчиком электропроводности профилографа ITP 93. Так, по данным ITP 93 максимальная соленость в слое АВ составила 35,4 ‰, что не соответствует принятым представлениям о распределении термохалинных характеристик в СЛО.

Температура поверхностного слоя воды (–1,57…–1,53 °С) в котловине Амундсена по данным ITP 93 во втором и третьем кварталах 2016 г. незначительно превышала климатическую норму (–1,7 °С). Интересной особенностью вертикального распределения температуры воды во втором квартале 2016 г. стало наличие локального максимума температуры в слое на глубине 40—45 м (рис. 3.1.6).

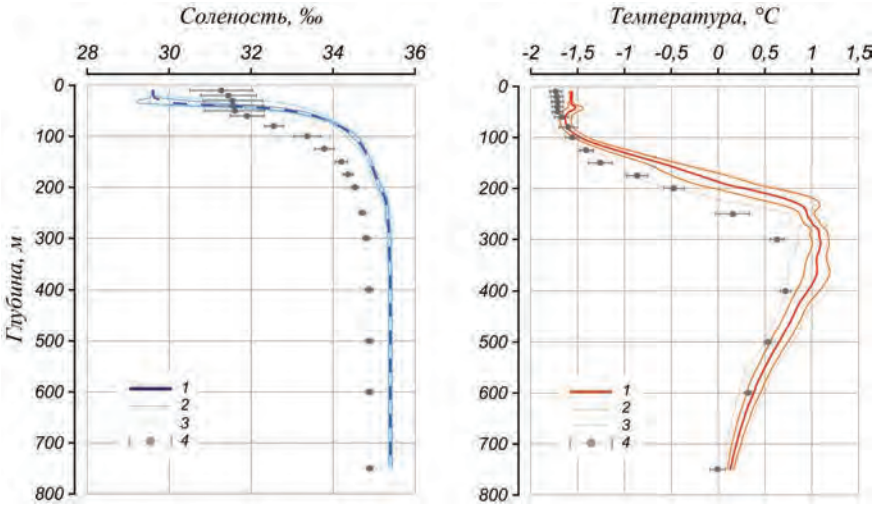


Рис. 3.1.6. Вертикальное распределение солености и температуры воды в котловине Амундсена в апреле — июне 2016 г. по результатам измерений профилографа ITP 93.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

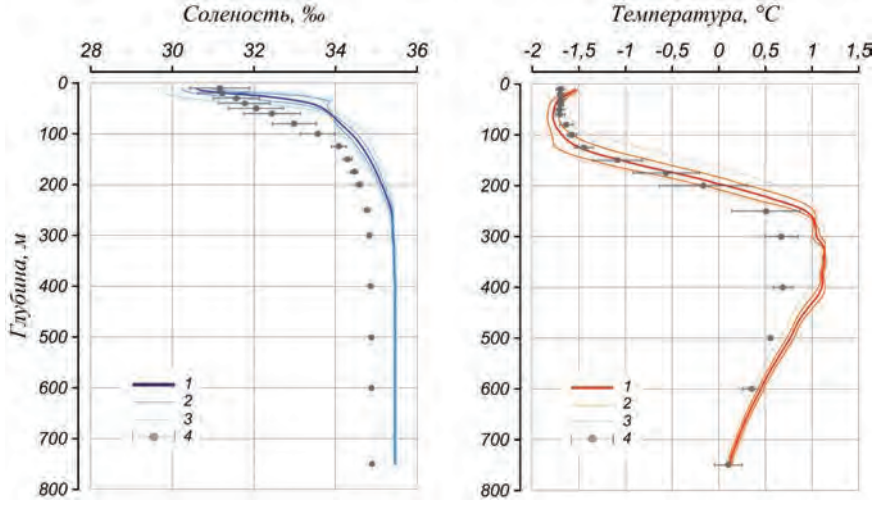


Рис. 3.1.7. Вертикальное распределение солености и температуры воды в котловине Амундсена в июле 2016 г. по результатам измерений профилографа ITP 93.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

Возможно, отмеченное локальное повышение температуры связано с наличием на данной изопикнической поверхности летних тихоокеанских вод, дошедших в данный район в сильно трансформированном и охлажденном состоянии.

Температура воды в ядре атлантических вод (АВ) в котловине Амундсена в 2016 г. достигла 1,3 °С, превысив климатическую норму на 0,5 °С (рис. 3.1.5—3.1.7). При этом следует отметить, что максимальная температура АВ в первом квартале 2016 г. в котловине Амундсена составила почти 2,0 °С (рис. 3.1.5).

Помимо аномалии термического состояния, в первом и втором кварталах 2016 г. продолжала прослеживаться аномалия в локализации ядра АВ и его границ. Верхняя граница АВ, определяемая по изотерме 0 °С, была расположена на глубине 155 м (первый квартал) и 190 м (второй квартал), что примерно на 40 м выше ее климатического положения (рис. 3.1.5, 3.1.6). При этом в третьем квартале 2016 г. аномалия в локализации ядра АВ по сравнению с предыдущими периодами была крайне незначительна. Так, верхняя граница АВ (200 м) была расположена всего на 15 м выше ее климатического положения (рис. 3.1.7).

Выводы

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2016 г., гидрологический режим СЛО продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему. Распределение солености поверхностного слоя характеризуется наличием дипольной структуры, выраженной отрицательной аномалией (–2,3…–2,7 ‰) в Амеразийском суббассейне и положительной аномалией (до 0,9 ‰ в январе — марте) в Евразийском.

Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ). В Евразийском суббасейне положительная аномалия АВ в 2016 г. составила 0,5 °С, в Амеразийском суббассейне — 0,3–0,4 °С, что соответствует оценкам, полученным в 2015 г. Помимо аномалии термического состояния, продолжала прослеживаться аномалия в локализации ядра АВ и его границ. Так, в первом и втором кварталах 2016 г. в котловине Амундсена верхняя граница АВ, определяемая по изотерме 0 °С, залегала на 40 м выше своего климатического положения. Однако в третьем квартале 2016 г. аномалия в локализации ядра АВ по сравнению с предыдущими периодами была крайне незначительна и составила всего 15 м.

Так же как и АВ, летние тихоокеанские воды (ЛТВ) в Амеразийском суббассейне характеризуются повышенными значениями температуры, превышающими климатическую норму на 1,5 °С.

Полученные оценки аномалий температуры АВ в СЛО в 2016 г. практически полностью соответствуют значениям, полученным в предшествующий 2015 г. Тенденций к повышению или понижению температуры воды АВ не наблюдается.

И.М. Ашик, В.А. Меркулов

3.2. УРОВЕНЬ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

В 2016 г. наблюдения за уровнем моря велись в Карском море на десяти 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 три с в северо-восточной части моря (о-ва Известий ЦИК, мыс Стерлегова, ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина)), а также в море Лаптевых на четырех станциях (Анабар, мыс Кигилях, пр. Санникова, о. Котельный). На станциях, расположенных в Восточно-Сибирском и Чукотском

морях наблюдения за уровнем моря не проводились. При этом необходимо отметить, что на станции им. М.В. Попова (о. Белый) наблюдения за уровнем проводились только в июле и августе, на станции ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина) регулярные наблюдения за уровнем моря проводились только в первую половину года (январь — июль), на станциях им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос) и Амдерма наблюдения не проводились в январе и феврале, а на станции мыс Стерлегова в январе — феврале и октябре — ноябре. На станциях о. Визе и о. Голомянный наблюдения, прекращенные в 2015 г., возобновлены не были.

Относительно полноценные наблюдения в течение года были выполнены только на семи станциях в Карском море (им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос), Амдерма, Сопочная Карга, Диксон, о-ва Известий ЦИК и Новый Порт) и четырех станциях в море Лаптевых (Анабар, мыс Кигилях, пр. Санникова, о. Котельный).

На протяжении 2016 г. колебания уровня, по данным большинства станций Карского моря, расположенных как в его юго-западной, так и в северо-восточной части, происходили на повышенном фоне. Аномалия среднегодовых значений уровня составили от +31 см (Амдерма) до +5 см (Болванский Нос и Сопочная Карга), но при этом на станции Диксон фон колебаний уровня был отрицательным (–8 см). В море Лаптевых среднегодовой уровень также был выше нормы: в юго-западной части моря Лаптевых на станции Анабар среднегодовой уровень на 28 см превышал средние многолетние значения, а в восточной части моря, в районе Новосибирских островов, изменялся от +10 см на станции о. Котельный до +25 см на станции м. Кигилях. Оценить фон колебаний уровня в Восточно-Сибирском и Чукотском морях не представляется возможным в связи с отсутствием данных наблюдений.

Сезонные колебания уровня арктических морей

Как правило, колебания уровня арктических морей отличаются хорошо выраженным годовым ходом, характеризующимся минимумом весной (март — май) и максимумом осенью (сентябрь — ноябрь). В 2016 г. сезонные колебания уровня в целом были близки к типичным, однако в некоторых случаях отмечались существенные отклонения.

На большинстве станций Карского моря (рис. 3.2.1) колебания уровня происходили на повышенном фоне в течение всего года. Отрицательные значения среднемесячного уровня наблюдались в первой половине года только на станциях Болванский Нос, Усть-Кара, Сопочная Карга и Диксон.

На станциях юго-западной части Карского моря в течение всего года происходил постепенный подъем среднего уровня, в результате чего максимальный среднемесячный уровень наблюдался в декабре: на станции Амдерма его значение составило +46 см, а на станции Усть-Кара +34 см.

На большинстве станций северо-восточной части Карского моря минимальные значения среднемесячного уровня отмечались в феврале — апреле, а максимальные — в августе — октябре, что в целом соответствует нормальному сезонному ходу уровня арктических морей, хотя при этом все-таки можно отметить существование некоторого временного сдвига, выражающегося в том, что максимальный среднемесячный уровень наблюдался в августе. Необходимо отметить также, что на станциях, находящихся в зонах значительного влияния речного стока, максимальный среднемесячный уровень наблюдался не в июне, как обычно, а в августе. На

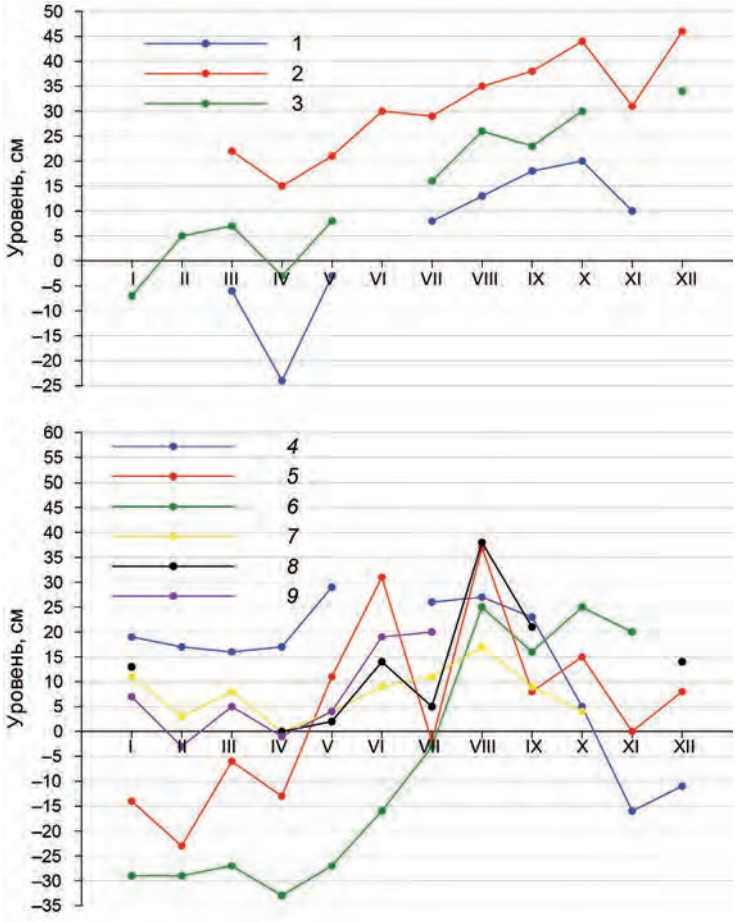


Рис. 3.2.1. Изменения среднемесячного значения уровня на станциях Карского моря в 2016 г.

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

станции Сопочная Карга, расположенной в вершине Енисейского залива, в июне среднемесячное значение уровня составило +31 см, а в августе +37 см.

В юго-западной части моря Лаптевых (п/ст Анабар) (рис. 3.2.2), как и на многих станциях Карского моря, колебания уровня в течение всего года происходили на повышенном фоне: от +16 см в феврале и октябре до +52 см в августе. При этом, как и на станциях Карского моря, находящихся под значительным влиянием речного стока, максимальный среднемесячный уровень отмечался не в период весеннего паводка — в июне, а в августе, когда среднемесячное значение уровня на этой станции составило +52 см.

В восточной части моря Лаптевых — в районе Новосибирских островов (рис. 3.2.2) — сезонный ход уровня был близок к типичному. Минимальные среднемесячные значения уровня наблюдались в феврале — марте: –4 см на станции пр. Санникова, –14 см на станции м. Кигилях, –29 см на станции о. Котельный, а

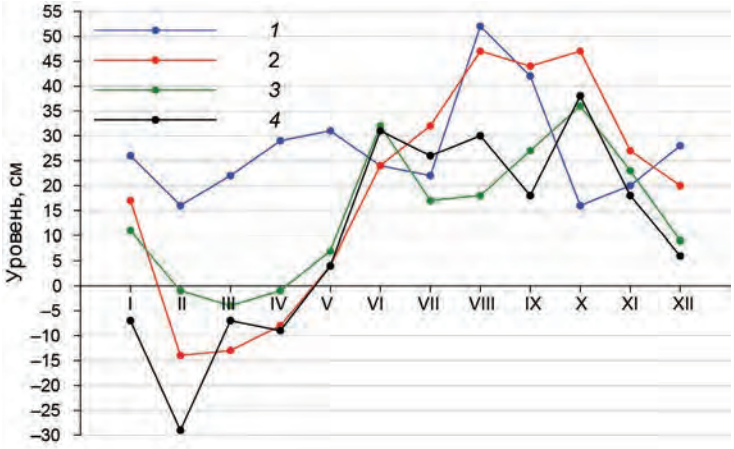


Рис. 3.2.2. Изменения среднемесячного значения уровня моря на станциях морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в 2015 г.

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

максимальные — в октябре: +36 см на станции пр. Санникова, +38 см на станции о. Котельный и +47 см на станции м. Кигилях.

Оценить характер сезонных колебаний уровня в Восточно-Сибирском и Чукотском морях не представляется возможным в связи с отсутствием данных наблюдений.

Сгонно-нагонные колебания уровня

Так же как в и последние несколько лет, в 2016 г. отмечены существенные изменения в режиме сгонно-нагонных колебаний уровня арктических морей. Ранее наиболее значительные анемобарические изменения уровня 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 г. значительные сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в августе — сентябре. В 2015 году, 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.

В 2016 г. наиболее значительные сгоны в юго-западной части Карского моря отмечались в январе — апреле: на станции Болванский Нос –59 см 7 апреля, на станции Амдерма –31 см 8 марта и на станции Усть-Кара –71 см 16 января. Наиболее значительный нагон в этом районе Карского моря наблюдался 16 марта, когда значение уровня моря на станции Амдерма превысило среднее значение на 94 см, на станции Усть-Кара — на 98 см и на станции Болванский Нос — на 79 см.

15—16 января значительный сгон отмечался и на ряде станций северо-восточной части Карского моря: –80 см на станции Диксон и –40 см на станции о-ва Известий ЦИК. Минимальный уровень на станции Сопочная Карга (–87 см) наблю-

дался 28 февраля. Наиболее значительный подъем уровня в Карском море был зафиксирован также на станции Сопочная Карга 23 октября и составил +147 см. На остальных станциях северо-восточной части Карского моря подъем уровня был не так велик: максимальный наблюденный уровень моря на станции Диксон отмечался 30 августа (+74 см), а на станции о-ва Известий ЦИК — 3 января (+75 см).

Наиболее значительный сгон в юго-западной части моря Лаптевых наблюдался на станции Анабар 20 июня (–56 см), а наиболее высоких отметок уровень моря достиг 25 сентября, поднявшись на 125 см выше среднего многолетнего значения.

В восточной части моря Лаптевых, в районе Новосибирских островов, наиболее значительный сгон был зафиксирован 1 марта, когда уровень моря на станции пролив Санникова и о. Котельный опустился ниже среднего многолетнего значения на 41 и 82 см соответственно. На станции мыс Кигилях наиболее значительный сгон (–61 см) наблюдался 17 февраля. Наиболее значительный подъем уровня отмечался 22—23 сентября, когда уровень моря на станциях мыс Кигилях и пролив Санникова поднялся выше среднего многолетнего значения на 102 и 86 см соответственно.

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. 3.2.1). Его значение составляло от 0,006 до 0,030 см/год при среднем значении 0,016 см/год и среднеквадратической ошибке ±0,071 см/год. Среднеквадратическое отклонение тренда при этом существенно превышало саму величину тренда, что однозначно указывало на его незначимость. После 1985 г. характер колебаний уровня на станциях арктических морей существенным образом изменился (рис. 3.2.3): в 1985 г. началось резкое повышение уровня моря, и в конце 1980-х — начале 1990-х годов его колебания 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. В 2010 г. уровень моря снова понизился до отметок, близких к средним значениям, после чего вновь началось его повышение, носившее в период 2011—2015 гг. в разных районах арктических морей различный характер.

В юго-западной части Карского моря наблюдалось хорошо выраженное повышение уровня с возвратом к максимумам 2005—2009 гг. В 2013 г. в этом районе был зафиксирован исторический максимум уровня, перекрытый в 2016 г. В восточной части Карского моря тенденции к повышению уровня были выражены слабо и, скорее, носили

Таблица 3.2.1

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

Район	Период, годы		
	1950—2016	1950—1986	1984—2016
Юго-запад Карского моря	+0,320 ± 0,030	+0,006 ± 0,054	+0,612 ± 0,071
Восток Карского моря	+0,133 ± 0,031	+0,012 ± 0,078	+0,068 ±0,080
Новосибирские острова	+0,215 ± 0,037	+0,030 ± 0,080	+0,264 ± 0,108
Среднее	+0,223 ± 0,033	+0,016 ± 0,071	+0,315 ± 0,086

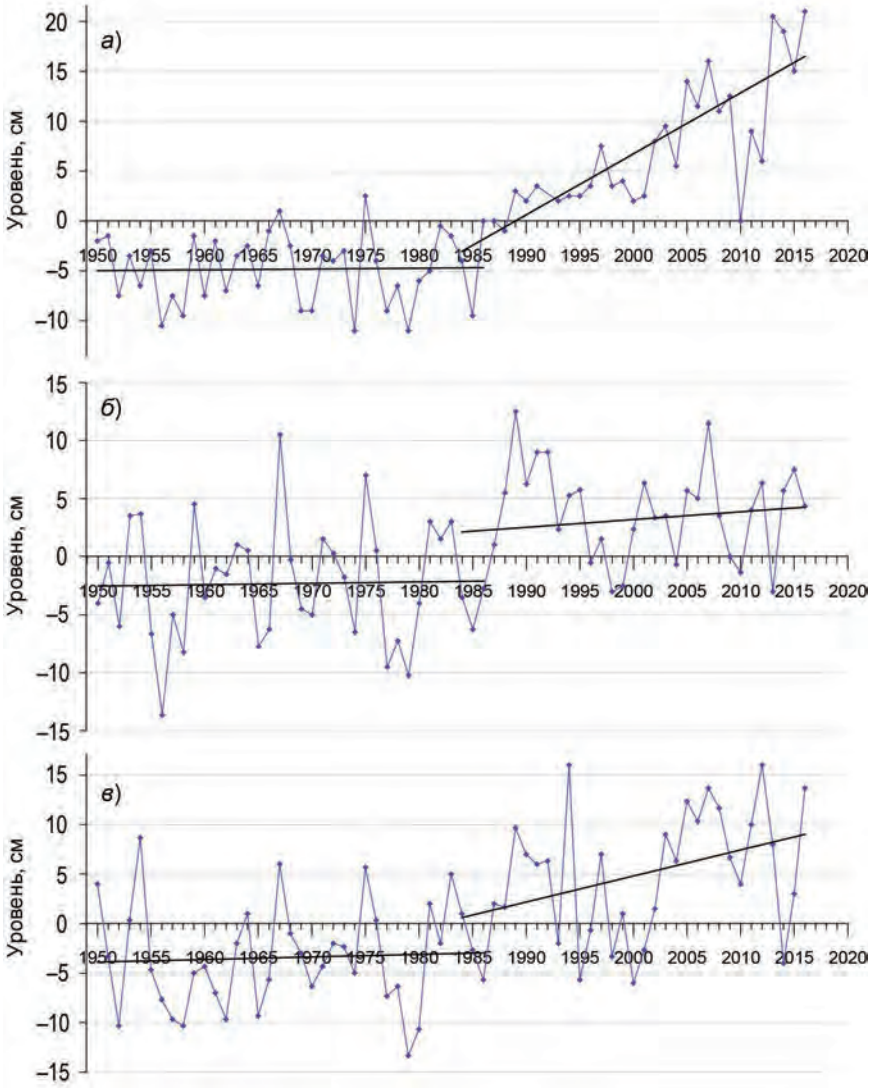


Рис. 3.2.3. Аномалии среднегодового уровня моря, осредненные по районам арктических морей.
а — юго-запад Карского моря, *б* — восток Карского моря, *в* — Новосибирские острова.
Прямыми линиями показаны линейные тренды.

стационарный характер на повышенном фоне. А в районе Новосибирских островов после подъема уровня моря с максимумом в 2012 г. произошло резкое понижение уровня с минимумом в 2014 г. В 2015 г. средний уровень моря несколько повысился, и в 2016 г. это повышение продолжилось. Среднее значение уровня в 2016 г. оказалось в числе четырех самых высоких значений среднего уровня за период наблюдений.

Значение тренда за период 1984—2016 гг. для различных районов арктических морей составило от 0,068 до 0,612 см/год при среднем значении тренда 0,315 см/год и среднеквадратической ошибке ±0,086 см/год. При этом наиболее значительный тренд

был зафиксирован, как и ранее, в юго-западной части Карского моря. Необходимо отметить, что в 2016 г. линейный тренд заметно изменился во всех районах, но наиболее существенным образом — в юго-западной части Карского моря: если по оценке для периода 1984—2015 гг. значение тренда составляло 0,459 ±0,076 см/год, то по оценкам для периода 1984—2016 гг. его значение составило 0,612 ±0,071 см/год.

Основной причиной таких изменений в характере колебаний уровня арктических морей можно считать изменения макроциркуляционных процессов, происходившие в атмосфере Северного полушария. Увеличение повторяемости и интенсивности циклонов, проходящих над акваторией арктических морей, привело 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 арктических морей имеет динамический характер.

Выводы

Проведенный анализ данных наблюдений за колебаниями уровня на станциях арктических морей показал следующее:

— на протяжении 2016 г. колебания уровня арктических морей в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения;

— для большинства станций арктических морей сезонные колебания уровня, в целом, были близки к типичным и отличались хорошо выраженным годовым ходом с минимумом в весенний период и максимумами в осенний;

— в 2016 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания уровня наблюдались преимущественно в январе — марте и августе — октябре, то есть величины сгонно-нагонных колебаний в зимний период года были сопоставимы с величинами колебаний осеннего периода.

— отмечается также и понижение абсолютных значений экстремальных сгонов и нагонов и, как следствие, величин колебаний уровня 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 2013 г., в 2014 г. произошло некоторое снижение фона колебаний уровня моря, особенно существенное в районе Новосибирских остров, где уровень впервые после 2001 г. опустился ниже средних отметок. Затем в 2015 г. произошло небольшое повышение уровня во всех анализируемых районах арктических морей, а в 2016 г. повышение среднего уровня продолжилось, в результате чего в юго-западной части Карского моря наблюдался исторический максимум среднего уровня, а в районе Новосибирских островов значение среднего уровня вошло в четверку самых высоких уровней за период наблюдений.

В.И. Дымов, Н.П. Яковлева

3.3. 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. Мониторинг ветрового волнения осуществлялся ежедневно на основе авторской спектрально-параметрической модели AARI-PD2, разработанной в ЛО ГОИН и модифицированной в ААНИИ.

Район российской Арктики аппроксимируется двумя большими расчетными областями с шагом 1,0° по долготе и 0,5° по широте. Первая расчетная область включает в себя Баренцево и Карское моря (западный сектор), а вторая — моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское (восточный сектор). В качестве основных исходных данных модели использовались 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 Брэкнелл (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 (*Hs — significant wave height*), обеспеченностью 13 % на акватории арктических морей России для отдельных месяцев года. Сведения о распределении величины *Hs* для Баренцева моря приведены в табл. 3.3.1, для Карского моря — в табл. 3.3.2, для акватории морей восточной части Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского) — в табл. 3.3.3 — 3.3.5.

Баренцево море

Из табл. 3.3.1 видно, что на акватории Баренцева моря в 2016 г. преобладало волнение с высотой волн от 2 до 3 м (37 % случаев). Число случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составило в 2016 г. 11 %. Это значение ниже по сравнению с 2015 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 %, 2015 г. — 15 %).

Таблица 3.3.1

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (*Hs*) 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	–	1	12	10	6	1	1	–	–	–	–	–
Февраль	–	1	8	4	10	6	–	–	–	–	–	–
Март	–	5	7	7	7	3	–	–	2	2	1	1
Апрель	–	7	17	4	2	–	–	–	–	–	–	–
Май	–	4	18	6	1	2	–	–	–	–	–	–
Июнь	–	10	13	7	–	–	–	–	–	–	–	–
Июль	–	14	13	3	1	–	–	–	–	–	–	–
Август	–	6	15	6	2	2	–	–	–	–	–	–
Сентябрь	–	9	11	7	3	–	–	–	–	1	–	–
Октябрь	–	2	7	11	8	3	–	–	–	–	–	–
Ноябрь	–	5	6	4	6	4	1	3	1	–	–	–
Декабрь	–	–	8	5	6	4	6	1	1	1	–	–
Итого за год	–	64	135	74	52	25	8	4	4	4	1	1

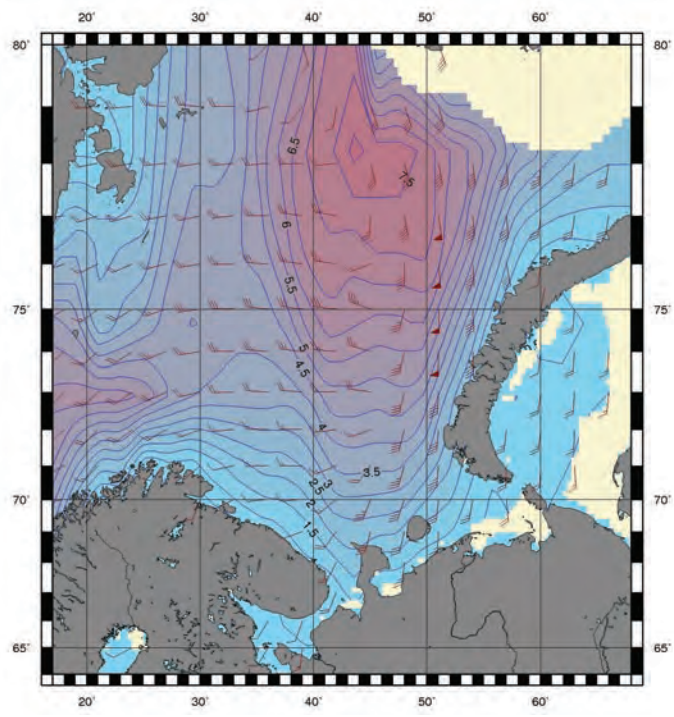


Рис. 3.3.1. Поля ветра и высоты волн (*Hs* м) в Баренцевом море на 06 ч UTC 20 декабря 2016 г.

Наиболее штормовыми месяцами 2016 г. стали март, ноябрь и декабрь. Максимальная расчетная высота волн в Баренцевом море в эти месяцы не превышала 8,5 м. Продолжительность самого сильного мартовского шторма составила четыре дня (с 14 по 17 марта), а максимальная расчетная высота волн в этот период была равна 8 — 8,5 м (15 марта в 12 и 18 ч UTC и 16 марта в 00 ч UTC), что значительно меньше, чем в 2015 г. (в марте 2015 г. она превышала 11,5 м).

В ноябре штормы продолжительностью 4—5 дней наблюдались в периоды с 7 по 10 и с 14 по 18 ноября, а в декабре — после 20 декабря (20—24, 26, 27, 29—31 декабря). Максимальная расчетная высота волн превышала 8 м (8 ноября в 18 ч, 20 декабря в 6 и 12 ч и 21 декабря в 18 ч). На рис. 3.3.1 в качестве примера приведены поля ветра и высоты волн *Hs* на акватории Баренцева моря на 06 ч UTC 20 декабря 2016 г.

Карское море

В табл. 3.3.2 приведены сведения о распределении высоты волн *Hs* для открытых участков Карского моря с января по декабрь 2016 г.

Следует отметить, что в январе 2016 г. в Карском море сохранялись две небольшие области чистой воды. Одна из них располагалась в юго-западной части моря около пролива Карские Ворота, а вторая — к северу и северо-востоку от архипелага Новая Земля. Южная область и пролив Карские Ворота покрылись льдом в третьей декаде января, а небольшая область на севере, граничащая с Баренцевым морем, оставалась открытой до конца марта. Такое явление в Карском море наблюдалось впервые за весь период расчетов начиная с 2007 г.

Таблица 3.3.2

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (*Hs*) в Карском море в 2016 г.

Месяц	Высота волн, м							
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8
Январь	3	15	6	6	1	–	–	–
Февраль	6	10	9	4	–	–	–	–
Март	11	13	5	2	–	–	–	–
Апрель (с 24 апреля)	1	6	–	–	–	–	–	1
Май	17	9	5	–	–	–	–	–
Июнь	6	19	5	–	–	–	–	–
Июль	1	22	5	3	–	–	–	–
Август	–	10	11	10	–	–	–	
Сентябрь	1	10	15	4	–	–	–	
Октябрь	1	12	9	6	2	1	–	
Ноябрь	3	12	6	4	2	2	1	
Декабрь	2	11	13	3	2	–	–	
Итого	52	149	89	42	7	3	1	

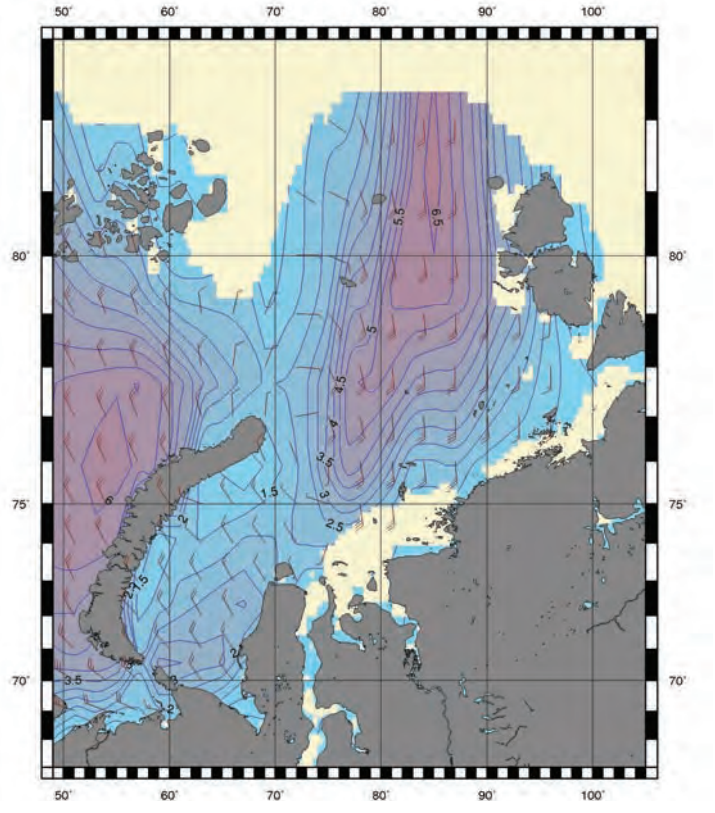


Рис. 3.3.2. Поля ветра и высоты волн (*Hs* м) в Карском море на 12 ч UTC 9 ноября 2016 г.

В конце марта Карское море покрылось льдом и стало открываться в конце апреля — начале мая, но быстрое очищение моря началось в июне. К концу июня основная часть моря была свободна от льда (до 81° с.ш.). Полностью Карское море очистилось от льда во второй половине августа, а закрылось в конце года.

Моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское

Поскольку большую часть года моря восточной части Арктики покрыты льдом, то в табл. 3.3.3—3.3.5 приведено распределение значительной высоты волн только

Таблица 3.3.3

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (*Hs*) на акватории моря Лаптевых в 2016 г.

Месяц	Высота волн, м						
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7
Июль(с 15.07)	12	5	–	–	–	–	–
Август	4	11	12	2	2	–	–
Сентябрь	1	12	7	8	2	1	1
Октябрь (до 29.10)	2	13	11	3	–	–	–
Итого	19	41	30	13	4	1	1

Таблица 3.3.4

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (*Hs*) на акватории Восточно-Сибирского моря в 2016 г.

Месяц	Высота волн, м					
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6
Июль	11	17	3	–	–	–
Август	–	5	18	4	3	1
Сентябрь	–	8	13	6	1	2
Октябрь	–	5	10	10	5	1
Ноябрь (до 12.11)	–	–	6	4	2	–
Итого	11	35	50	24	11	4

Таблица 3.3.5

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (*Hs*) в Чукотском море в 2016 г.

Месяц	Высота волн, м					
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6
Май (с 15.05)	10	7	–	–	–	–
Июнь	10	17	3	–	–	–
Июль	6	20	5	–	–	–
Август	2	15	11	2	1	–
Сентябрь	1	7	12	9	1	–
Октябрь	–	2	16	7	3	3
Ноябрь	–	6	6	11	7	–
Декабрь (до 17.12)	2	4	9	2	–	–
Итого	31	78	62	31	12	3

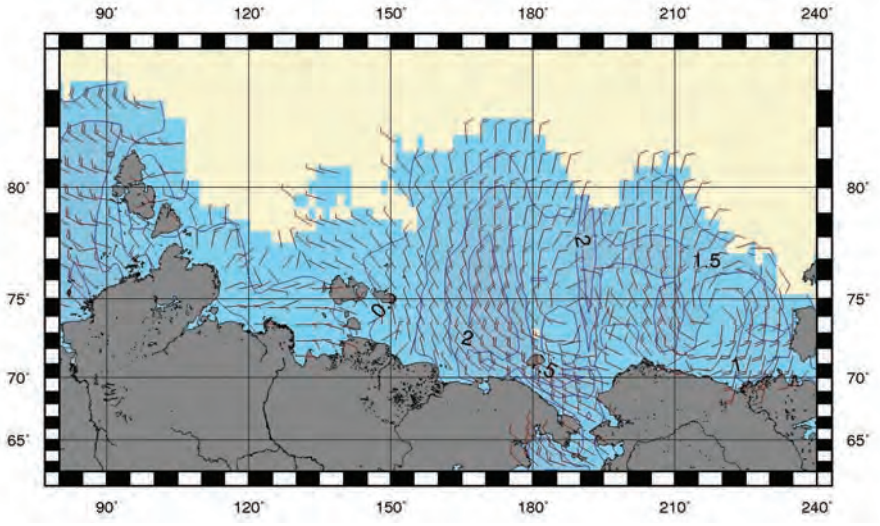


Рис. 3.3.3. Поля ветра и высоты волн (*Hs* м) в морях восточной Арктики на 12 ч UTC 24 сентября 2016 г.

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.

Из табл. 3.3.3—3.3.5 видно, что в море Лаптевых и Чукотском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 3 м (66 и 64 % случаев соответственно), а в Восточно-Сибирском море — с высотой волн от 2 до 3 м (37 % случаев). Наиболее штормовыми месяцами для моря Лаптевых стали август и сентябрь, для Восточно-Сибирского моря — период с августа по октябрь, а для Чукотского моря — октябрь.

Наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых составила 4,0—4,5 м (28 августа (12 и 18 ч), 29 августа (00, 06, 12 ч), 15 сентября (06, 12 и 18 ч) и 18 сентября (12 и 18 ч).

Наибольшая расчетная высота волн в Восточно-Сибирском море составила 5,5—6,0 м (26 октября на 12 ч).

Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила 5,0—5,5 м (26 октября (00 и 06 ч), 29 октября (12 ч) и 30 октября (06, 12 и 18 ч)).

Чукотское море начало очищаться от льда уже в середине мая, а моря Лаптевых и Восточно-Сибирское — в июле. В конце августа — начале сентября акватории морей восточной Арктики в значительной мере освободились от льда. К концу сентября область чистой воды в море Лаптевых распространилась до 77—80° с.ш., а в Восточно-Сибирском и Чукотском морях — до 80—82° с.ш. На рис. 3.3.3 в качестве примера приведены поля ветра и высоты волн Hs для морей восточной Арктики на 00 ч UTC 24 сентября 2016 г.

Море Лаптевых закрылось в конце октября, Восточно-Сибирское — к середине ноября, а Чукотское — во второй половине декабря.

Выводы

Анализ результатов модельных расчетов значительной высоты волн ветрового волнения (*Hs*) за 2016 г. на акватории арктических морей России показал следующее.

В Баренцевом море преобладало волнение с высотой волн от 2 до 3 м (37 % случаев), наиболее штормовыми месяцами стали март, ноябрь и декабрь. Число случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составило в 2016 г. 11 %. Максимальная расчетная высота волн в Баренцевом море не превышала 8,5 м, что значительно меньше, чем в 2015 г. (в марте 2015 г. она превышала 11,5 м).

В Карском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (43 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал ноябрь, когда максимальная высота волн превысила 6,5 м. Следует отметить, что в январе 2016 г. в Карском море сохранялись две небольшие области чистой воды. Одна из них располагалась в юго-западной части моря около пролива Карские Ворота, а вторая — к северу и северо-востоку от архипелага Новая Земля. Южная область и пролив Карские Ворота покрылись льдом в третьей декаде января, а небольшая область на севере, граничащая с Баренцевым морем, оставалась открытой до конца марта. Такое явление в Карском море наблюдалось впервые за весь период расчетов начиная с 2007 г.

В море Лаптевых преобладало волнение с высотой волн от 1 до 3 м (66 % случаев), наиболее штормовыми месяцами стали август и сентябрь, а наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых в 2016 г. составила 4,0—4,5 м, что на 2 м меньше чем в 2015 г.

В Восточно-Сибирском море преобладало волнение с высотой волн от 2 до 3 м (37 % случаев), наиболее штормовым стал период с августа по октябрь, наибольшая расчетная высота волн при этом составила 5,5—6,0 м.

В Чукотском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 3 м (64 % случаев). Наиболее штормовым месяцем для Чукотского моря стал октябрь. Наибольшая расчетная высота волн в этот месяц составила 5,0—5,5 м, что на 1 м больше по сравнению с 2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщив данные мониторинга развития и перестроек крупномасштабных атмосферных процессов, можно сделать следующие выводы.

Атмосферные процессы в 2016 г. в Северной полярной области развивались на фоне аномально высокой повторяемости в первом секторе полушария меридиональных процессов восточной формы циркуляции, а во втором секторе — меридиональных процессов разновидностей типов M_2 и M_1.

В средней тропосфере, на изобарической поверхности 500 гПа, центр планетарного циркумполярного вихря в январе, феврале, октябре и ноябре находился над Канадой, а в июне — сентябре — в приполюсном районе, вблизи своего среднего многолетнего положения. В период март — май и в декабре ЦПВ имел два центра: над Канадой и Азией. В это время полярный район Арктики часто находился под влиянием высотных гребней антициклонов.

В атлантико-евразийском и тихоокеано-американском секторах Северного полушария ВФЗ располагалась чаще 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. Исключение составил период март — май, когда под влиянием гребней арктического антициклона преобладали низкоширотные траектории циклонов. Более частые, чем в предшествующем 2015 г., высокоширотные траектории циклонов в системе исландского и алеутского минимумов способствовали формированию отрицательных среднегодовых аномалий давления в Арктике.

При высокой повторяемости высокоширотных траекторий смещения циклонов в полярный район Арктики в толще тропосферы отмечалась преобладающая направленность воздушных потоков с южной составляющей и формирование положительных аномалий температуры воздуха в полярном районе. Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха в 2016 г. отмечались в районах Баренцева и Карского морей, а также Канады. Эти районы внесли наибольший вклад в формирование высокого температурного фона полярного района в 2016 г.

На акватории морей российской Арктики фон с положительными аномалиями температуры воздуха также сохранился и повсюду превысил значения за предшествующий год. По сравнению с 2015 г. наиболее значительное повышение температурного фона наблюдалось над Баренцевым, Карским и Восточно-Сибирском морями (на 2 °С). В 2016 г. наиболее высокие средние годовые значения с положительными аномалиями температуры воздуха отмечались в районе западных морей — Баренцева и Карского.

Аномально высокий температурный фон в Северной полярной области, характерный для текущей циркуляционной эпохи (1996—2015 гг.), в 2016 г. сохранился. В среднем по полярному району аномалия температуры воздуха в 2016 г. составила 4,9 °С, что выше экстремального значения, ранее наблюдавшегося в 2012 г. Экстремальное повышение температурного фона в Арктике во многом было сопряжено с увеличением повторяемости в 2016 г. более высокоширотных траекторий

смещения циклонов в системе исландского и алеутского минимумов в полярный район.

В течение последних тридцати лет (1987—2016 гг.) температура воздуха повышалась во всех регионах СПО. В целом для СПО линейное повышение среднегодовой температуры воздуха за последние 30 лет составило около 2,4 °С. Потепление в районах окраинных арктических морей составило от 2,4 °С (море Бофорта) до 5,1 °С (Карское море). Результаты мониторинга состояния приземной атмосферы в Северной полярной области позволяют сделать вывод о сохранении в последние годы тенденции к потеплению в высоких широтах.

Ледовые условия в летний период 2016 г. развивались по легкому типу. Для развития ледовых процессов в 2016 г. были характерны следующие особенности.

Толщина льда по данным п/ст. была меньше нормы на 25—50 см в морях Карском и Лаптевых и около нормы в морях Восточно-Сибирском и Чукотском.

Таяние и разрушение льда очень интенсивно начались в окраинных морях (Баренцево, Карское, Чукотское), где уже в мае — июне сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости.

В конце летнего периода, в сентябре, очистилась прибрежная часть всех морей СМП, крупные аномалии ледовитости сформировались в морях Баренцевом, Карском, Восточно-Сибирском.

Площадь ледяного покрова в СЛО в середине сентября 2016 г. составила 4,3 млн км^2, став третьей по рангу легких по ледовым условиям лет (превысив значения за 2007 и 2012 гг.)

При общем фоне легких ледовых условий сложные ледовые условия наблюдались в западной части моря Лаптевых до конца августа.

Осенние процессы начались в прикромочной области среди остаточных льдов на 15—20 суток позже нормы, а в морях на 1—1,5 месяца позже нормы (кроме моря Лаптевых).

Гидрологический режим Северного ледовитого океана и его морей в 2016 г. характеризовался следующими особенностями.

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2016 г., гидрологический режим СЛО продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему. Распределение солености поверхностного слоя характеризуется наличием дипольной структуры, выраженной отрицательной аномалией солености (–2,3…–2,7 ‰) в Амеразийском суббассейне и ее положительной аномалией (до +0,9 ‰ в январе — марте) в Евразийском.

Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ). В Евразийском суббасейне положительная аномалия АВ в 2016 г. составила 0,5 °С, в Амеразийском суббассейне — 0,3–0,4 °С, что соответствует оценкам, полученным в 2015 г. Помимо аномалии термического состояния, продолжала прослеживаться аномалия в локализации ядра АВ и его границ.

Так же как и АВ, летние тихоокеанские воды (ЛТВ) в Амеразийском суббассейне характеризовались повышенными значениями температуры, превышающими климатическую норму на 1,5 °С.

Полученные оценки аномалий температуры АВ в СЛО в 2016 г. практически полностью соответствуют значениям, полученным в предшествующий 2015 г. Тенденций к увеличению или уменьшению температуры воды АВ не наблюдается.

На протяжении 2016 г. колебания уровня арктических морей в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения. В 2016 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в январе — марте или августе — октябре.

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—2014 гг. произошло некоторое снижение фона колебаний уровня моря, особенно существенное в районе Новосибирских остров, где уровень впервые после 2001 г. опустился ниже средних отметок. В 2015 г. наблюдалось небольшое повышение уровня во всех районах арктических морей, а в 2016 г. повышение среднего уровня продолжилось. В 2016 г. в юго-западной части Карского моря наблюдался исторический максимум среднего уровня, а в районе Новосибирских островов средний уровень вошел в четверку самых высоких уровней за период наблюдений.

В связи с тем что в 2016 г. в рамках экспедиционных работ ААНИИ морские гидрохимические наблюдения не проводилось, а доступа к гидрохимическим данным экспедиций иных организаций на акватории Северного ледовитого океана и арктических морей получить не удалось, раздел с описанием гидрохимических характеристик исключен из Обзора гидрометеорологической обстановки СЛО за 2016 г.