

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



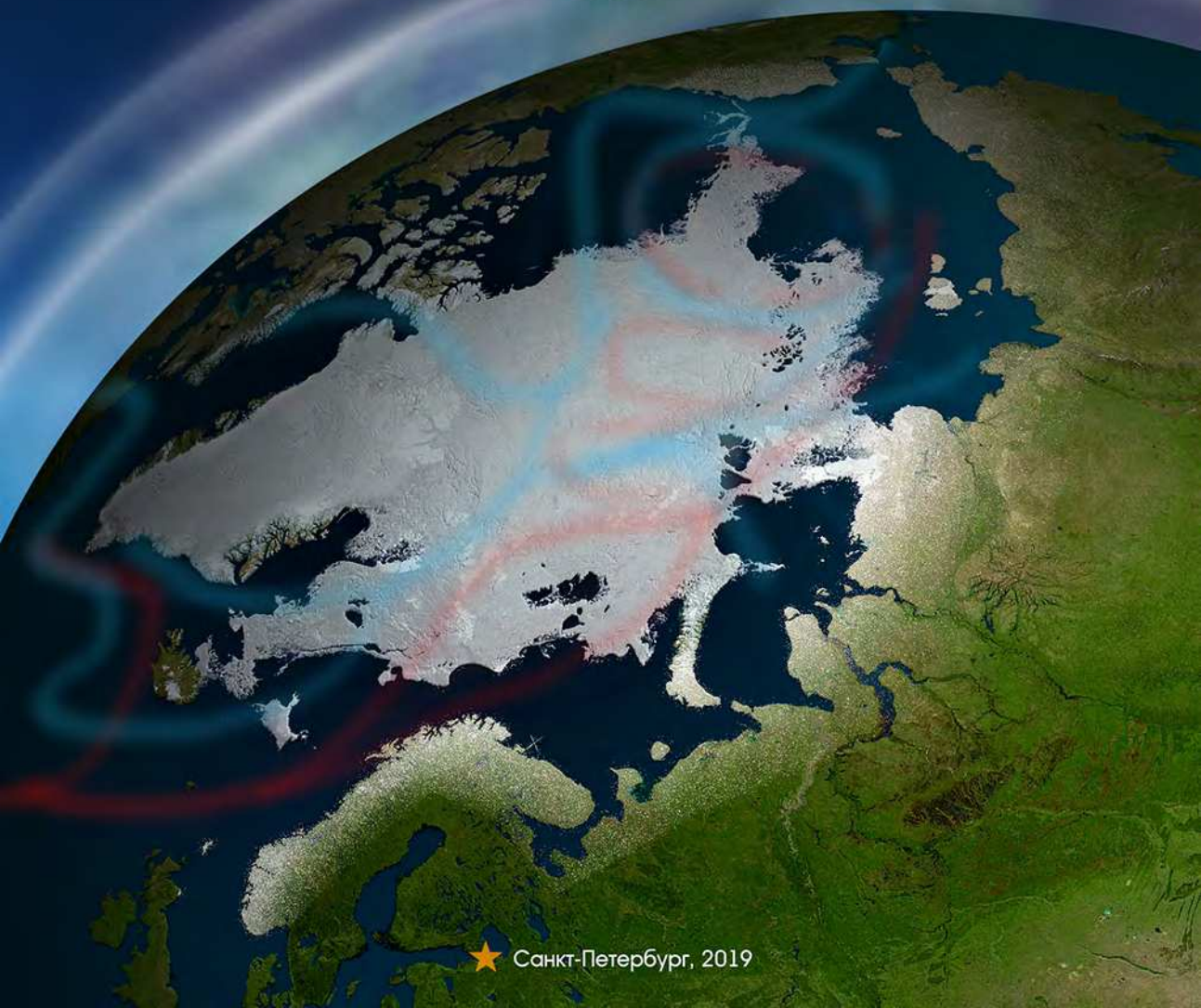
ISSN 2618-673X (Print)
ISSN 2618-6721 (Online)

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ
АРКТИЧЕСКИЙ
И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ

ОБЗОР

гидрометеорологических процессов в Северной полярной области

2018



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



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



**ОБЗОР
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ
2018**

Под редакцией

чл.-корр. РАН, д-ра геогр. наук И.Е. Фролова

Санкт-Петербург
ААНИИ
2019

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северной полярной области, Северном Ледовитом океане и его морях в 2018 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 16.05.2019
Формат 70×100 1/16
Тираж 200

Печать офсетная
Печ. л. 6,25
Заказ №

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

ISSN 2618-673X (Print)
ISSN 2618-6721 (Online)

© Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
(ГНЦ РФ ААНИИ), 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
1. Метеорологические условия в Северной полярной области	6
1.1. Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь — декабрь 2018 г.	6
1.2. Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области	16
2. Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях	27
Введение	27
2.1. Развитие ледовых условий в зимний период (январь — март)	28
2.2. Развитие ледовых условий в весенний период (апрель — июнь)	36
2.3. Развитие ледовых условий в летний период (июль — сентябрь)	44
2.4. Развитие ледовых условий в осенний период (октябрь — декабрь)	53
2.5. Ледово-гидрологические процессы в устьевых областях рек	61
3. Гидрологические и гидрохимические условия в Северном Ледовитом океане и его морях	72
3.1. Термохалинные условия	72
3.2. Гидрохимические условия	79
3.3. Уровень арктических морей	85
3.4. Ветровое волнение на акватории арктических морей	91
Заключение	98

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в 2018 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.

Метеорологический раздел посвящен описанию особенностей развития крупномасштабных метеорологических процессов и изменчивости различных метеорологических величин и явлений. В составлении раздела принимали участие специалисты лабораторий метеорологии (ответственный редактор — зав. лабораторией канд. геогр. наук В.Ф. Радионов) и долгосрочных метеорологических прогнозов (ответственный редактор — зав. лабораторией канд. геогр. наук В.В. Иванов).

Ледовый раздел посвящен описанию развития ледяного покрова и особенностям ледовых явлений в океане, арктических морях и устьевых областях основных арктических рек. Основой для такого анализа послужили данные постоянного спутникового мониторинга, экспедиционных наблюдений на судах и дрейфующих станциях и архивные климатические данные. В составлении раздела принимали участие специалисты отдела ледового режима и прогнозов (ответственные редакторы — зав. лабораторией канд. геогр. наук А.В. Юлин и зав. лабораторией канд. геогр. наук В.М. Смоляницкий).

Гидрологический раздел посвящен описанию гидрологических и гидрохимических условий в Северном Ледовитом океане и его морях. В составлении раздела принимали участие специалисты отдела океанологии (ответственный редактор — зав. отделом канд. физ.-мат. наук К.В. Фильчук).

Общее руководство подготовкой обзора осуществлялось научным руководителем ААНИИ, чл.-корр. РАН, д-ром геогр. наук И.Е. Фроловым.

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

В составлении обзора принимали участие ведущие специалисты ААНИИ:

И.Е. Фролов, научный руководитель ААНИИ (общее руководство, научное редактирование);

В.В. Иванов, зав. лабораторией (п. 1.1);

Г.А. Алексеенков, нач. отдела (п. 1.1);

В.Ф. Радионов, зав. лабораторией (п. 1.2);

Е.И. Александров, ст. науч. сотрудник (п. 1.2);

А.В. Юлин, зав. лабораторией (п. 2.1 — 2.4);

В.М. Смоляницкий, зав. лабораторией (п. 2.1 — 2.4);

Е.А. Павлова, науч. сотрудник (п. 2.1 — 2.4);
Д. М. Демчев, ведущий инженер (п. 2.1 — 2.4);
М.Ю. Кулаков, ст. науч. сотрудник (п. 2.3);
Н. Л. Корельская, начальник сектора (п. 2.5);
Н. Г. Беляева, ведущий инженер (п. 2.5);
М. С. Чуфарова, ведущий инженер (п. 2.5);
М.С. Махотин, зав. лабораторией (п. 3.1);
Л.А. Тимохов, глав. науч. сотрудник (п. 3.1);
В.Ю. Карпий, ст. науч. сотрудник (п. 3.1);
Н.В. Лебедев, ст. науч. сотрудник (п. 3.1);
А.Е. Новихин, зав. лабораторией (п. 3.2);
И.М. Ашик, зам. директора (п. 3.3);
В.А. Меркулов, науч. сотрудник (п. 3.3);
В.И. Дымов, зав. лабораторией (п.3.4);
Н.П. Яковлева, науч. сотрудник (п. 3.4);
С.О. Сороко, ведущий инженер (оформление отчета).

1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

1.1. МОНИТОРИНГ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЯРНОМ РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗА ПЕРИОД ЯНВАРЬ — ДЕКАБРЬ 2018 г.

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 2018 г.

При анализе крупномасштабных процессов 2018 г. учитывались развитие и перестройка общей циркуляции атмосферы (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), траектории фронтальных циклонов и антициклонов. Оценка пространственно-временной изменчивости процессов проводилась средствами комплексного аэросиноптического анализа термобарических полей в толще тропосферы путем выделения квазиоднородных циркуляционных периодов с однонаправленным развитием крупномасштабных процессов.

Особенности развития атмосферных процессов в 2018 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 — 1.1.8). Расчеты аномалий температуры воздуха проводились относительно нормы за период 1961—1990 гг.

В первом секторе Северного полушария в 2018 г. в целом за год наибольшую повторяемость имели процессы восточной (*E*) формы циркуляции. Повторяемость данной формы циркуляции по сравнению с 2017 г. увеличилась на 68 дней и превысила многолетнюю норму на 55 дней. Наибольшая повторяемость процесса восточной формы отмечалась в периоды январь — февраль и май — август (см. рис. 1.1.1).

Меридиональные процессы формы циркуляции *C*, как и в предшествующем году, были близки к норме.

Таблица 1.1.1

**Годовые значения числа дней с формами и типами циркуляции
и их отклонение от нормы в 2018 г.**

Повторяемость	Индекс циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	<i>W</i>	<i>C</i>	<i>E</i>	3	M_1	M_2
Число дней	76	89	200	60	176	129
Аномалия	51	–4	55	–69	76	–7

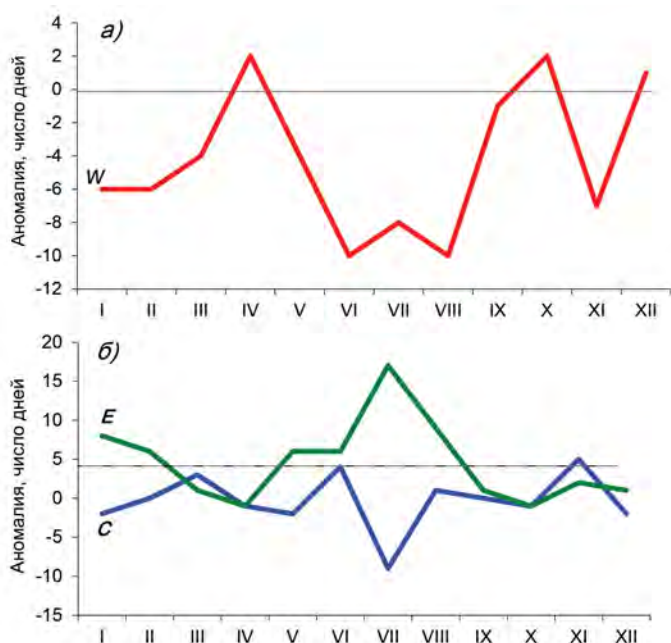


Рис. 1.1.1. Годовой ход среднемесячных значений аномалии числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в атлантико-евразийском секторе в 2018 г. *W* — западная (зональная) форма, *C* — меридиональная форма, *E* — восточная (меридиональная) форма.

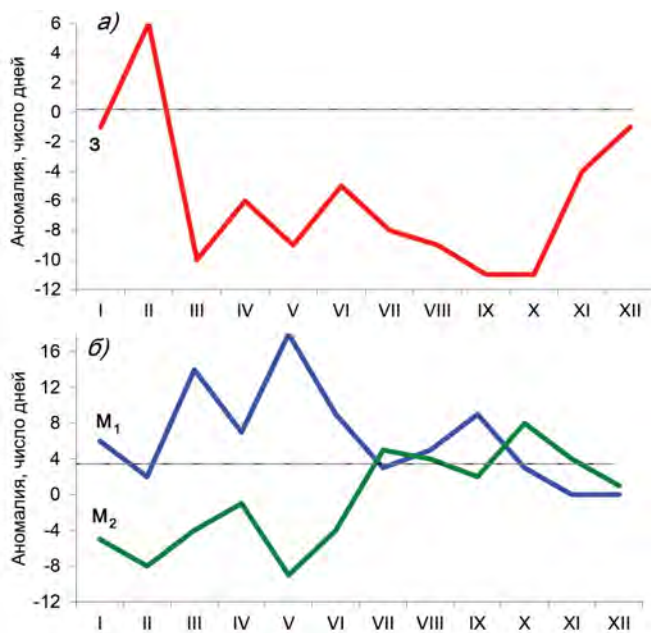


Рис. 1.1.2. Годовой ход среднемесячных аномалий числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в тихоокеано-американском секторе в 2018 г. *З* — зональная форма, *M*₁ — первая меридиональная форма, *M*₂ — вторая меридиональная форма.

Наиболее низкую повторяемость в 2018 г. имели зональные процессы западной формы циркуляции. Повторяемость данной формы циркуляции по сравнению с предшествующим годом уменьшилась в два раза и составила 76 дней, что ниже нормы на 51 день.

Во втором секторе Северного полушария в 2018 г. была высока повторяемость меридиональных процессов типа M_1 , которая превысила многолетнюю норму на 76 дней. Повторяемость данной формы циркуляции по сравнению с 2017 г. увеличилась на 46 дней. Наибольшая повторяемость данные процессы имели в период март — июнь.

Повторяемость меридиональных процессов типа M_2 в среднем за год, как и в 2017 г., была близка к норме и характеризовалась более высокими значениями во второй половине года, в период июль — декабрь (рис. 1.1.2).

Повторяемость зональных процессов, как и в первом секторе Северного полушария, была устойчиво ниже нормы и превысила средние многолетние значения только в феврале.

Таким образом, основной особенностью крупномасштабных процессов в Северном полушарии явилось усиление межширотного воздухообмена, связанного с повышенной повторяемостью в 2018 г. в первом секторе разновидностей меридиональных процессов восточной (E) формы циркуляции и во втором секторе меридиональных процессов типа M_1 за счет ослабления повторяемости зональных процессов на полушарии.

В средней тропосфере, на изобарической поверхности 500 гПа, центр планетарного циркумполярного вихря (ЦПВ) в период июнь — июль и в декабре находился вблизи своего многолетнего положения.

В период февраль — апрель и в ноябре центр ЦПВ был смещен в сторону Азиатского континента, в район Карского моря и Таймыра. В период август — октябрь центр ЦПВ чаще формировался вблизи канадского сектора Арктики.

В период январь — февраль и в мае полярный район Арктики часто находился под влиянием высотных гребней антициклонов. ЦПВ имел два центра, располагавшихся над Канадой и континентальной частью Азиатского континента.

По среднегодовым данным гребни блокирующего генерального западного потока в толще тропосферы чаще всего располагались в первом секторе Северного полушария, над континентальной частью Европы (восточная форма циркуляции E). Во втором секторе блокирующие гребни располагались преимущественно над восточной частью акватории Тихого океана (меридиональный тип циркуляции M_1), оси которых были часто ориентированы на район Чукотского и Восточно-Сибирского морей.

В зонах влияния высотных блокирующих гребней сформировались наиболее крупные положительные аномалии геопотенциала на изобарической поверхности 500 гПа (см. рис. 1.1.4).

В большинстве месяцев ВФЗ в атлантико-евразийском секторе Северного полушария в 2018 г. чаще располагалась севернее своего многолетнего положения. В результате смещение циклонов в системах исландского минимума в полярный район Арктики обычно происходило по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям. Исключением стал период март — апрель, когда ВФЗ чаще располагалась южнее своего многолетнего положения и циклоны в системах исландского минимума, смещаясь по более низкоширотным по сравнению с нормой траекториям, не оказывали существенного влияния на полярный район Арктики.

В тихоокеано-американском секторе Северного полушария в большинстве месяцев циклоны в системах алеутского минимума смещались по ВФЗ по высокоширотным траекториям, оказывая влияние на восточный сектор полярного района Арктики.

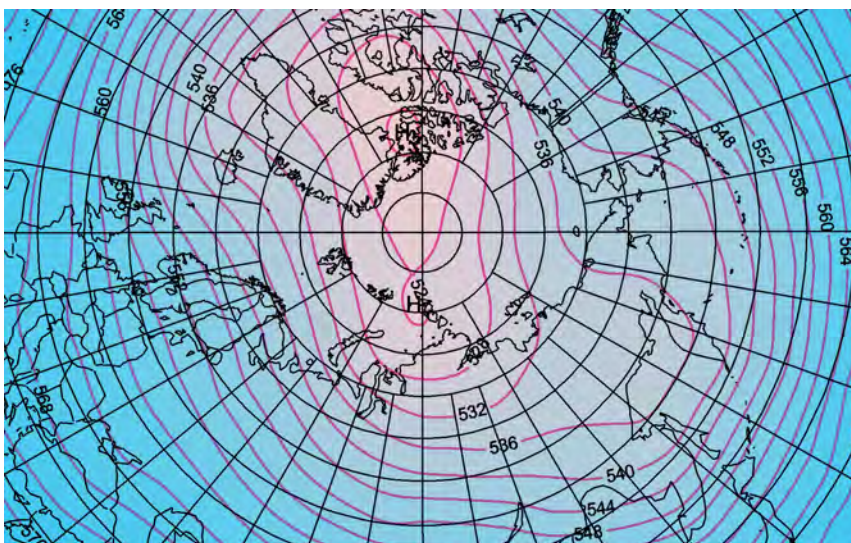


Рис. 1.1.3. Поле среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2018 г. по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужб США (NOAA и NWS).

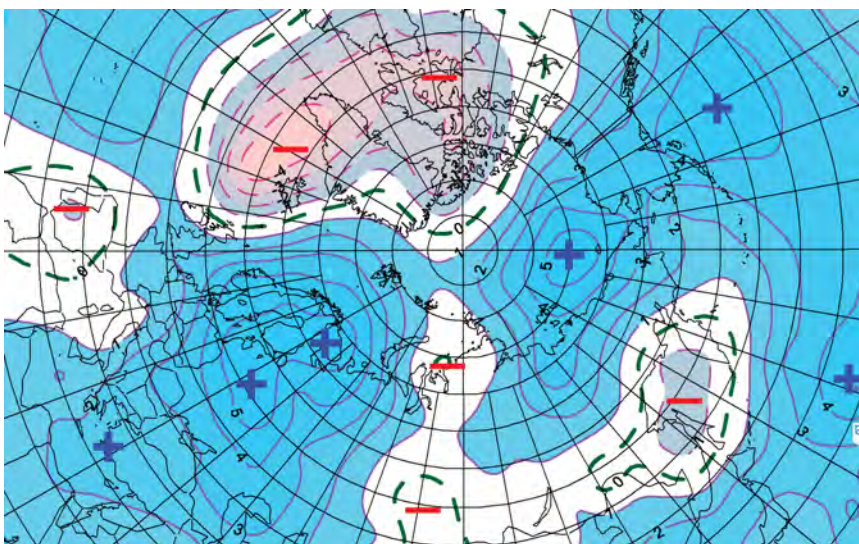


Рис. 1.1.4. Поле средней аномалии геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2018 г. по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужб США (NOAA и NWS).

Средние за 2018 г. значения геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа и его аномалии относительно нормы за период 1961—1990 гг. представлены на рис. 1.1.3 и 1.1.4.

Преобладание высокоширотных траекторий циклонов в полярном районе Арктики сформировало поле отрицательных среднегодовых значений аномалии давления (рис. 1.1.5 и 1.1.6).

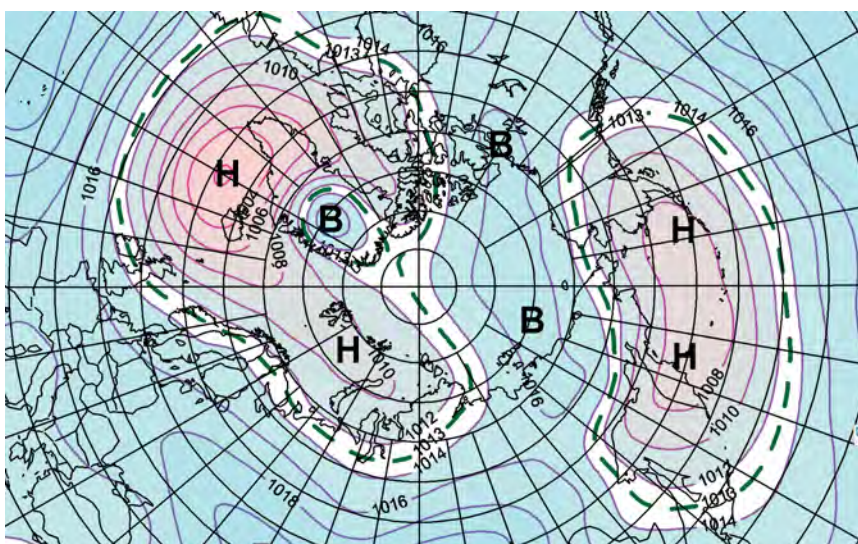


Рис. 1.1.5. Поле среднего приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2018 г. по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужб США (NOAA и NWS).

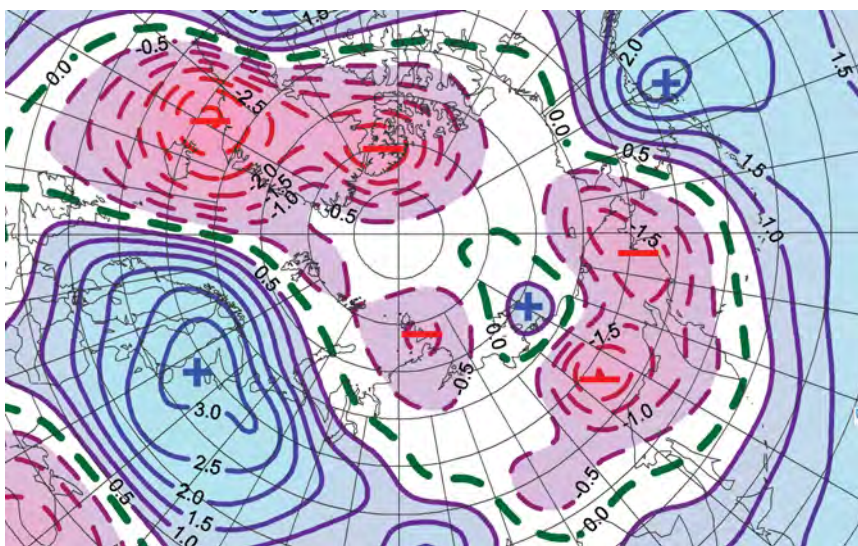


Рис. 1.1.6. Поле средней аномалии приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2018 г. по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужб США (NOAA и NWS).

В первом и во втором секторах Северного полушария развитие крупномасштабных атмосферных процессов было характерным для текущей циркуляционной стадии и циклоны смещались по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям.

Это способствовало сохранению адвекции теплых воздушных масс и формированию в течение 2018 г. устойчивого фона с положительными аномалиями температуры воздуха в полярном районе Арктики.

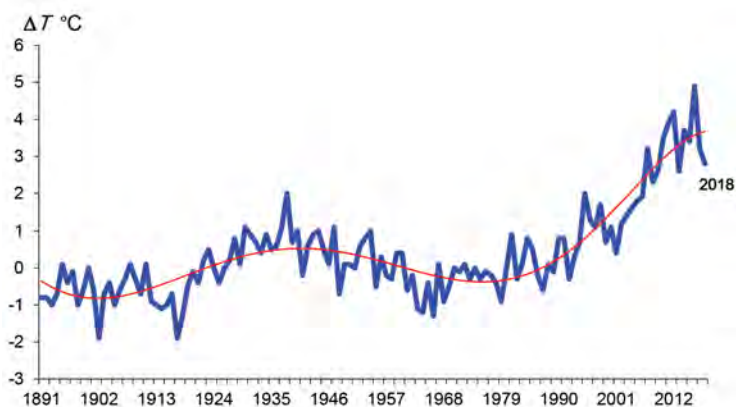


Рис. 1.1.7. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (ΔT) в широтном поясе 70 — 85° с.ш. (1891—2018 гг.).

При этом фон температуры воздуха имел тенденцию к понижению. Понижение температурного фона в 2017 и 2018 гг. по сравнению с экстремальным 2016 г. составило 1,7 и 2,1 °C соответственно (рис. 1.1.7).

Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха (до 4—5 °C) отмечались в восточном секторе полярного района (рис. 1.1.8). Этот район внес наибольший вклад в формирование высокого температурного фона полярного района в 2018 г. Расчеты аномалии температуры воздуха проводились относительно нормы за период 1961—1990 гг.

Структурный анализ внутригодовых и внутримесячных особенностей развития атмосферных процессов в 2018 г. проводился по комплексу метеорологических характеристик (форма, тип циркуляции и их разновидности, направление воздуш-

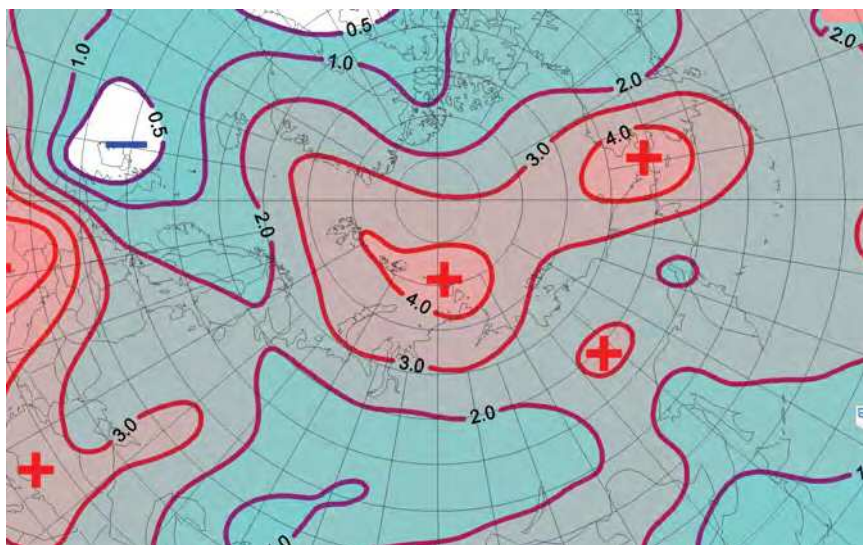


Рис. 1.1.8. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха (°C) за период январь — декабрь 2018 г.

по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужб США (NOAA и NWS).

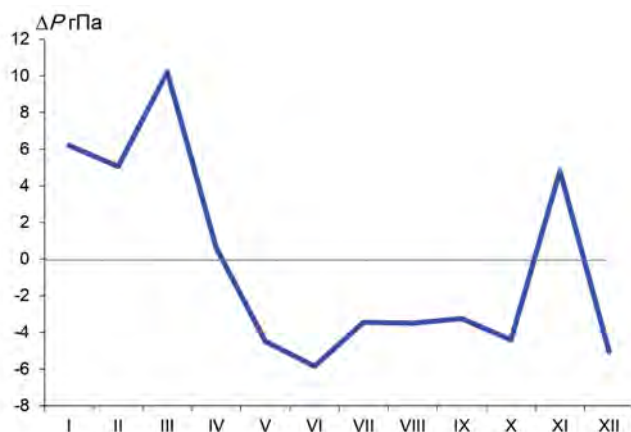


Рис. 1.1.9. Среднемесячные значения аномалии давления в январе — декабре 2018 г. в центральном полярном районе Арктики.

ных 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 2018 г. от месяца к месяцу отмечались частые изменения направленности развития крупномасштабных атмосферных процессов (см. рис. 1.1.1 и 1.1.2).

Внутри года выделен ряд стадий с однонаправленным развитием процессов, каждая из которых характеризуется разновидностью 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 2018 г. по среднемесячным данным выглядит следующим образом:

январь (E_{M_1}) → февраль (E_{3+M_1}) → март ($E+C_{M_1}$) →
апрель (W_{M_1}) → май (E_{M_1}) → июнь ($E+C_{M_1}$) →
июль ($E_{M_2+M_1}$) → август ($E_{M_1+M_2}$) → сентябрь ($E_{M_1+M_2}$) →
октябрь (W_{M_2}) → ноябрь ($E+C_{M_{22}}$) → декабрь ($E+W_{M_2}$)

На рис. 1.1.9 представлены изменения средних месячных значений аномалии давления в полярном районе Арктики.

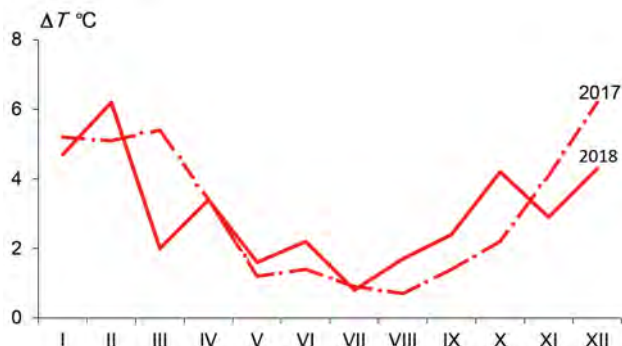


Рис. 1.1.10. Годовой ход среднемесячных значений аномалии температуры воздуха (ΔT) в широтном поясе 70—85° с.ш. в 2018 и 2017 гг.

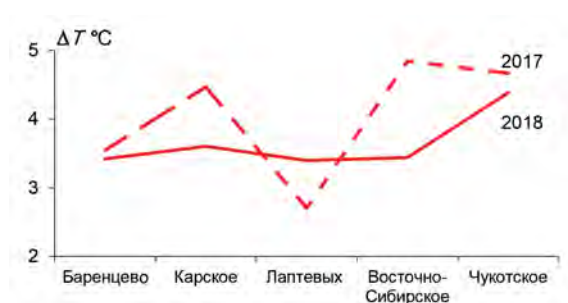


Рис. 1.1.11. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (ΔT) на акватории арктических морей Евразии в 2018 и 2017 гг.

В течение 2018 г. в тенденциях изменения давления и температуры воздуха в полярном районе Арктики выделяется четыре периода.

В январе — апреле и в ноябре полярный район находился под влиянием антициклонов, что предопределило формирование фона давления в Арктике выше нормы. В мае — октябре и в декабре в Арктике отмечалась активная циклоническая деятельность, что обусловило формирование фона давления ниже нормы.

Внутригодовые изменения среднемесячных значений аномалии температуры воздуха в Арктике в широтном поясе $70\text{—}85^\circ$ с.ш. в январе — декабре 2018 г. представлены на рис. 1.1.10.

Отмеченные тенденции изменения температуры воздуха в течение 2018 г. в целом согласуются со сменой направленности крупномасштабных атмосферных процессов. Наибольшие значения положительных аномалий температуры отмечались под влиянием циклонов с Северной Атлантики и Тихого океана в холодные месяцы осенне-зимнего охлаждения моря (октябрь — декабрь и январь — февраль).

На трассе СМП арктических морей России в 2018 г. преобладали положительные аномалии температуры. Наиболее высокие значения положительной аномалии температуры воздуха отмечались в Чукотском море,

По сравнению с предшествующим 2017 г. в 2018 г. на акватории всех морей за исключением моря Лаптевых отмечалось понижение фона температуры воздуха. Наиболее значительное понижение температурного фона было отмечено в районе Восточно-Сибирского моря, где сформировался наиболее низкий фон температуры воздуха.

Изменения среднегодовых значений аномалии температуры воздуха в 2018 г. для акваторий морей российской Арктики в сравнении с 2017 г. приводятся на рис. 1.1.11.

Анализ структурных особенностей циркуляции атмосферы внутри каждого месяца в 2018 г. проводился по естественным стадиям однонаправленного развития процессов — по 26 разновидностям элементарных синоптических процессов (ЭСП) атлантико-евразийского сектора Северного полушария.

Анализ показал, что для каждого месяца характерна большая повторяемость перестройки процессов. Переходы от одного ЭСП к другому сопровождались сменой знака барических полей и направления преобладающих воздушных потоков в полярном районе Арктики, что было обусловлено крупномасштабной перестройкой атмосферных процессов в двух секторах Северного полушария. Разновидности основных форм циркуляции в атлантико-евразийском секторе полушария с типами циркуляции в тихоокеано-американском секторе полушария для каждого ЭСП с января по декабрь 2018 г. представлены в табл. 1.1.2.

Таблица 1.1.2

**Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма — Гирса
с января по декабрь 2018 г. с внутримесячной детализацией атмосферных процессов
по элементарным синоптическим процессам**

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

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

Примечания: 1. ЭСП — элементарный синоптический процесс; А—Е — атлантико-европейский сектор полушария; Т—А — тихоокеано-американский сектор полушария. 2. В скобках приведены значения среднесуточной аномалии повторяемости (число дней) с формами (W, C, E) и типами (3, M₁, M₂) атмосферной циркуляции.

1.2. МОНИТОРИНГ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

В настоящем разделе приводятся оценки изменения температуры воздуха по районам Северной полярной области (СПО) и арктических морей (рис. 1.2.1). Исходными данными послужили данные наблюдений 250 стационарных метеорологических станций.

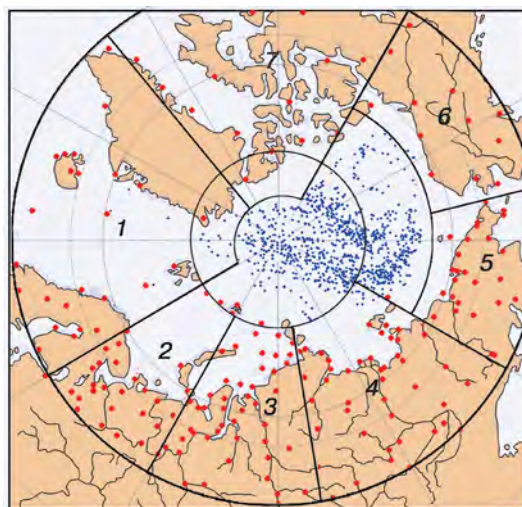


Рис. 1.2.1. Сеть метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) и границы рассматриваемых районов в СПО.

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 климатических районов значений аномалии температуры воздуха является метод оптимального осреднения. Оценки аномалий получены 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.

Таблица 1.2.1

**Аномалии ΔT (отклонения от нормы за 1961—1990 гг.)
температуры воздуха (ΔT) на территории СПО
и отдельных широтных зон в среднем за год и за сезоны 2018 г.**

φ° с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	R
70—85	3,0	2	5,6	1	1,9	12	0,9	9	3,6	2
60—70	2,1	2	3,5	2	1,2	13	1,2	4	2,4	1
60—85	2,5	2	4,5	1	1,5	11	1,1	5	2,9	2

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2018 гг.

Оценка аномалий средних сезонных и среднегодовой температуры воздуха за 2018 г. по отдельным широтным зонам (60—85, 60—70 и 70—85° с.ш.) представлена в табл. 1.2.1.

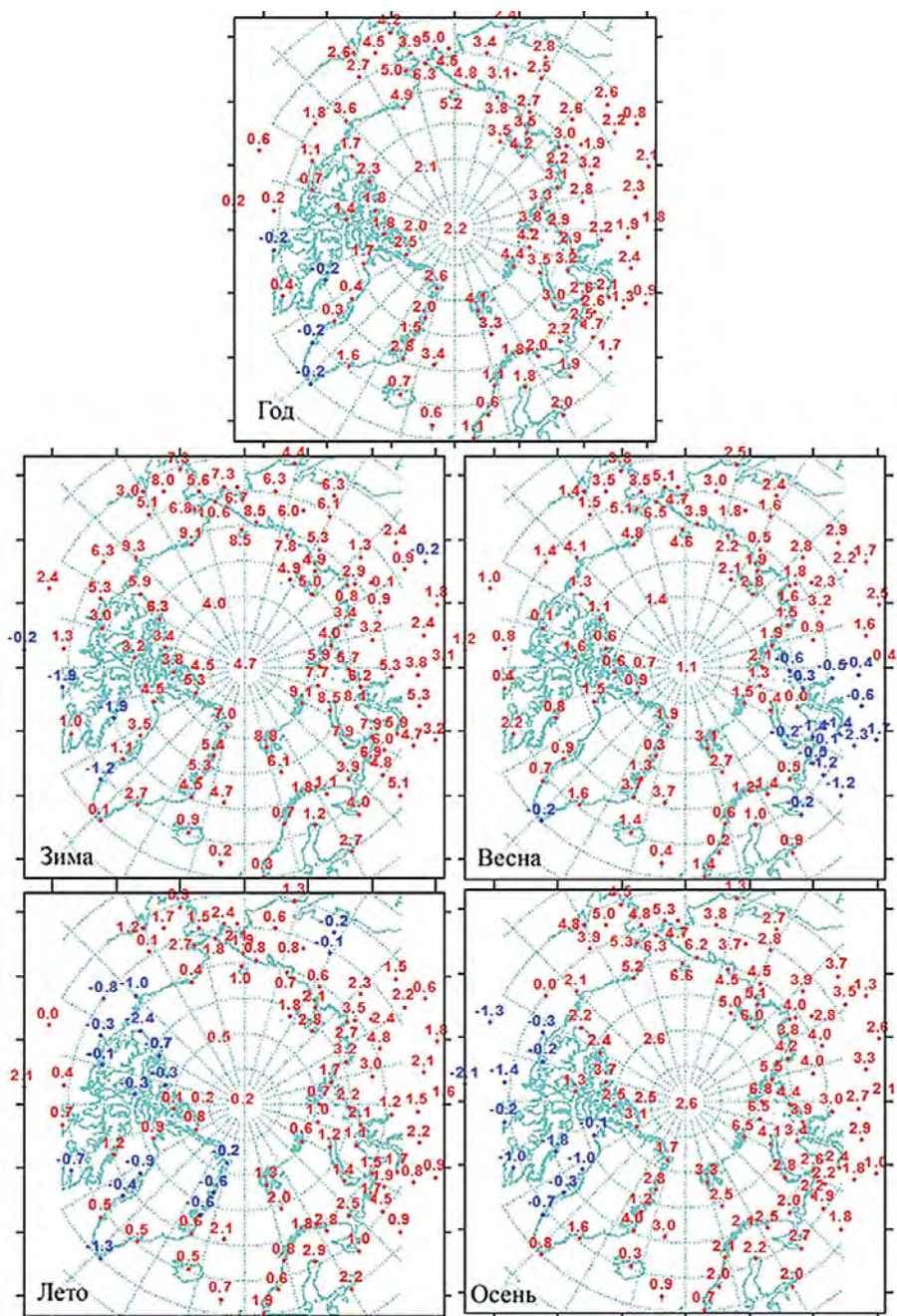


Рис. 1.2.2. Аномалии среднегодового и средних сезонных значений температуры воздуха (°C) на станциях СПО.

Значение пространственно осредненной аномалии среднегодовой температуры воздуха в СПО составило 2,5 °С, и 2018 г. стал вторым теплым годом по рангу теплых лет за период с 1936 г. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70—85° с.ш. оказалась равной 3,0 °С, а в зоне 60—70° с.ш. — 2,1 °С. Эти значения стали также вторыми по рангу теплых лет.

В 2018 г. на территории отдельных широтных зон области наиболее крупных аномалий температуры воздуха располагались к северу от параллели 70° с.ш. в зимнем и осеннем сезонах. В широтной зоне 70—85° с.ш. зимой аномалия составила 5,6 °С, а осенью 3,6 °С. Это соответствует первому и второму значениям по рангу теплых лет за период с 1936 г.

Пространственное распределение аномалий среднегодового и средних сезонных значений 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 2018 г. году области крупных положительных аномалий температуры воздуха располагались преимущественно в восточной части евразийского сектора и в западной части североамериканского сектора. Самые крупные аномалии наблюдались на территории Чукотского и Аляскинского районов. Значения пространственно осредненных по территории районов аномалий среднегодовой температуры воздуха составили соответственно 3,9 и 3,4 °С. Это соответствует первому и второму значениям по рангу теплых лет за период с 1936 г.

В зимнем сезоне крупные положительные аномалии температуры воздуха наблюдались в притихоокеанском секторе (см. табл. 1.2.3 и рис. 1.2.2). Значение пространственно осредненной по территории района аномалии составило в Чукотском районе 6,7 °С и в Аляскинском районе 6,1 °С. Для этих районов прошедшая зима оказалась наиболее теплой зимой с 1936 г.

На метеорологических станциях в районах арктических морей крупные положительные аномалии температуры воздуха наблюдались на акватории северной части Баренцева и Карского морей, а также в районе Чукотского моря и моря Бофорта. Здесь на станциях значения аномалии температуры воздуха достигали 9—10 °С. В целом по району Чукотского моря пространственно осредненная аномалия составила 8,8 °С (табл. 1.2.3). Зима 2017/18 г. в районе Чукотского моря и моря Бофорта оказалась первой по рангу теплых лет с 1936 г.

В весеннем сезоне область крупных положительных аномалий температуры воздуха располагалась в восточной части евразийского и западной части североамериканского секторов СПО (см. рис. 1.2.2 и табл. 1.2.3). Аномалия температуры в Чукотском и Аляскинском районах составила 3,1 и 3,0 °С соответственно. Прошедший сезон в обоих районах стал седьмым теплым сезоном по рангу теплых лет с 1936 г. На большей части территории Западно-Сибирского района наблюдались отрицательные аномалии температуры воздуха.

В районах арктических морей и на территории суши выше параллели 70° с.ш. наблюдались преимущественно положительные значения аномалии температуры воздуха. Наиболее высокие значения положительной аномалии отмечались в северной части Гренландского и Норвежского морей и в районе Чукотского моря. В районе Чукотского моря прошедший весенний сезон стал вторым, а в северной части Гренландского и Норвежского морей пятым теплым сезоном по рангу теплых лет (см. табл. 1.2.3).

Таблица 1.2.2

**Аномалии (отклонение от нормы за 1961—1990 гг.) температуры воздуха ΔT (°C)
для отдельных районов СПО в среднем за год и за сезоны 2018 г.**

Район	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R
Атлантический	1,8	4	3,3	3	1,6	8	0,4	13	1,9	6
Североевропейский	2,4	5	4,7	7	0,4	25	1,8	4	2,6	4
Западно-Сибирский	2,6	9	5,8	4	-0,4	37	1,4	7	3,4	5
Восточно-Сибирский	2,7	3	2,3	10	2,1	14	2,4	1	3,8	1
Чукотский	3,9	1	6,7	1	3,1	7	1,2	8	4,6	2
Аляскинский	3,4	2	6,1	1	3,0	7	0,4	14	4,0	2
Канадский	0,9	15	2,5	9	0,8	21	0,1	17	0,1	26

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2018 гг.

Таблица 1.2.3

**Аномалии (отклонение от нормы за 1961—1990 гг.) температуры воздуха ΔT (°C)
для районов севернее 70° с.ш. в среднем за год и сезоны 2018 г.**

Море, часть климатического района	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	2,8	4	6,0	2	2,4	5	0,3	19	2,6	7
Баренцево море	3,0	4	5,8	6	1,1	21	1,7	5	3,2	4
Карское море	3,3	8	7,1	6	0,2	34	1,4	8	4,5	7
Море Лаптевых	3,2	4	3,6	5	1,9	14	2,5	1	4,9	1
Восточно-Сибирское море	4,0	1	6,5	1	2,6	10	1,4	6	5,6	1
Чукотское море	5,5	1	8,8	1	5,1	2	1,6	5	6,4	1
Море Бофорта	2,9	9	6,3	1	2,8	8	-0,6	26	3,0	8
Северная часть Канадского района	1,3	12	3,2	4	0,9	23	0,0	19	1,1	17

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2018 гг.

В летнем сезоне основная область крупных положительных аномалий температуры располагалась в евразийском секторе (см. рис. 1.2.2 и табл. 1.2.2). Аномалия температуры в Восточно-Сибирском районе составила 2,4 °C. По рангу теплых лет это наибольшее значение с 1936 г.

В северной части Канадского района и на большей части прибрежной зоны Гренландии наблюдались отрицательные аномалии температуры. В районах морей евразийского сектора отмечались положительные аномалии температуры. При этом наиболее высокие значения аномалии наблюдались в районе моря Лаптевых: осредненное значение аномалии там составило 2,5 °C (см. табл. 1.2.3). По рангу теплых лет это наибольшее значение с 1936 г.

В осеннем сезоне на станциях СПО наиболее крупные аномалии температуры прослеживались в восточной части евразийского и западной части североамериканского секторов СПО. Значения пространственно осредненных по территориям Восточно-Сибирского, Чукотского и Аляскинского районов аномалий температуры

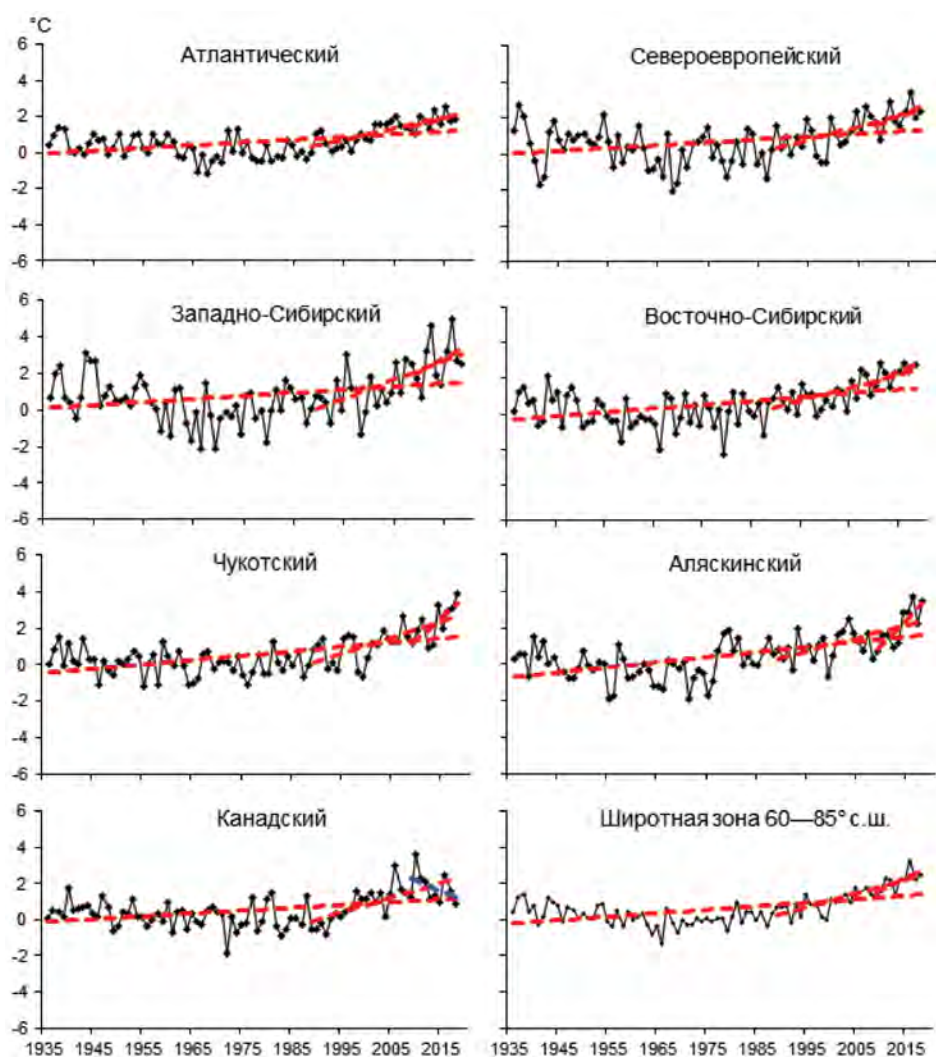


Рис. 1.2.3. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60—85° с.ш.

воздуха составили 3,8; 4,6 и 4,0 °C. Прошедший сезон в Восточно-Сибирском районе стал первым, а в Чукотском и Аляскинском районах — вторым теплым сезоном по рангу теплых лет.

На акватории арктических морей наиболее высокие значения положительной аномалии температуры воздуха наблюдались в районе морей евразийского сектора. В северной части Баренцева и Карского морей и в районе Чукотского моря аномалии температуры на станциях составляли 3—6 °C. Пространственно осредненная аномалия температуры воздуха по району Чукотского моря составила 6,4 °C. Осень 2018 г. в районе морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского стала наиболее теплой осенью по рангу теплых лет с 1936 г.

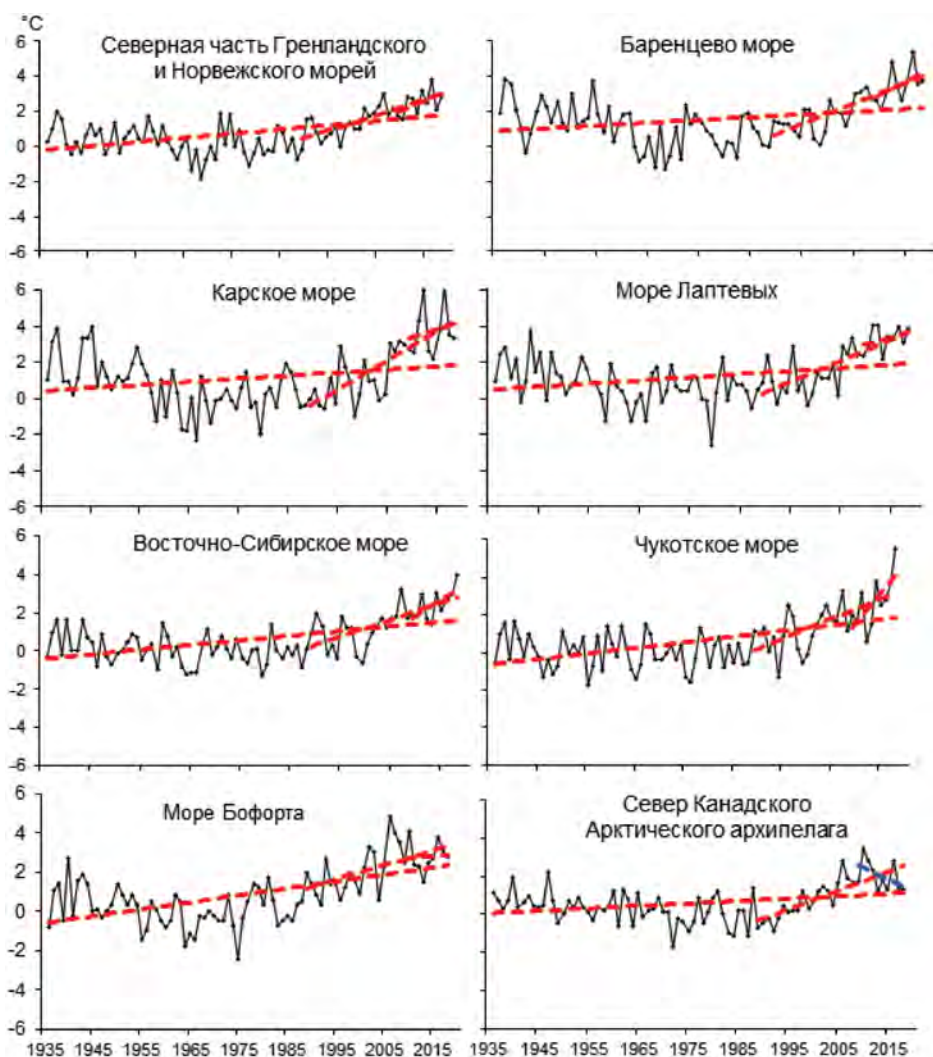


Рис. 1.2.4. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей.

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 период 1936—2018 гг. наблюдается статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры воздуха для широтных зон 60—70 и 70—85° с.ш. и в целом для СПО. Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 83 года составило 1,49; 1,66 и 1,58 °C соответственно. Для отдельных климатических районов значимый тренд среднегодовой температуры воздуха прослеживается во всех районах. Потепление за 83 года составляет от 1,12 до 2,24 °C.

Таблица 1.2.4

Коэффициент линейного тренда Bx (°C/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—2018 гг.										
Атлантический	0,22	39,7	0,16	42,5	0,11	44,0	0,12	32,2	0,15	45,8
Североевропейский	0,14	12,9	0,29	43,2	0,11	27,3	0,11	19,0	0,16	32,8
Западно-Сибирский	0,11	9,7	0,32	35,6	0,12	33,3	0,11	14,9	0,17	29,1
Восточно-Сибирский	0,24	30,5	0,34	44,8	0,13	38,4	0,15	22,7	0,22	47,0
Чукотский	0,18	23,6	0,29	42,1	0,19	56,3	0,29	44,0	0,24	53,9
Аляскинский	0,44	47,7	0,27	36,0	0,17	52,1	0,20	30,8	0,27	58,2
Канадский	0,25	33,4	0,07	14,3	0,12	40,1	0,19	37,2	0,16	41,1
70—85°с.ш.	0,23	33,9	0,26	50,5	0,13	53,1	0,19	35,4	0,20	47,3
60—70°с.ш.	0,22	43,1	0,23	52,6	0,14	60,0	0,14	37,5	0,18	58,3
60—85°с.ш.	0,22	43,4	0,24	53,1	0,14	58,7	0,16	39,4	0,19	54,6
1989—2018 гг.										
Атлантический	1,05	73,5	0,47	52,3	0,35	54,1	0,64	76,2	0,63	78,9
Североевропейский	0,98	40,5	0,40	24,7	0,40	44,7	1,08	63,3	0,72	63,9
Западно-Сибирский	1,50	48,3	0,79	32,7	0,45	42,0	1,37	58,2	1,03	62,7
Восточно-Сибирский	0,27	14,1	0,98	48,8	0,51	50,2	1,04	63,1	0,70	69,9
Чукотский	1,34	56,1	0,65	35,5	0,35	40,1	1,11	62,3	0,86	69,0
Аляскинский	1,31	55,0	0,16	9,4	0,08	9,4	1,20	67,1	0,69	61,7
Канадский	1,47	72,2	0,53	35,6	0,44	53,5	0,71	52,7	0,79	68,5
70—85°с.ш.	1,72	85,0	0,74	59,6	0,38	60,2	1,31	88,4	1,04	89,2
60—70°с.ш.	0,65	49,3	0,41	40,0	0,33	59,7	0,74	72,9	0,53	73,9
60—85°с.ш.	1,13	76,9	0,53	50,2	0,37	64,2	1,00	84,8	0,76	82,9
2009—2018 гг.										
Атлантический	1,23	54,1	0,10	5,9	−0,31	21,5	1,27	59,3	0,57	48,9
Североевропейский	3,58	53,1	−0,07	1,3	0,98	32,8	0,13	5,1	1,16	51,8
Западно-Сибирский	5,29	51,9	−0,02	0,3	1,19	31,4	−0,30	8,0	1,54	34,3
Восточно-Сибирский	3,43	60,0	1,52	26,9	−0,27	13,2	0,44	15,3	1,28	66,1
Чукотский	5,08	65,5	1,80	37,6	0,81	39,5	1,86	45,9	2,39	72,0
Аляскинский	5,17	73,3	3,70	60,8	0,59	34,3	2,01	73,5	2,87	81,3
Канадский	−1,21	25,9	−0,79	19,4	−1,09	47,5	−2,14	65,7	−1,31	40,2
70—85°с.ш.	2,51	63,1	0,87	28,9	−0,36	23,9	0,35	16,7	0,84	57,6
60—70°с.ш.	3,68	80,8	1,18	35,5	0,65	50,4	0,74	47,1	1,56	76,4
60—85°с.ш.	3,22	80,9	1,13	33,3	0,26	22,7	0,61	37,7	1,31	66,5

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

Таблица 1.2.5

Коэффициент линейного тренда Bx ($^{\circ}C/10$ 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—2018 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,32	37,0	0,25	47,5	0,18	60,2	0,19	35,3	0,24	51,2
Баренцево море	0,10	9,2	0,25	37,5	0,10	29,1	0,14	23,0	0,15	27,6
Карское море	0,10	7,0	0,33	34,8	0,09	26,1	0,16	17,6	0,17	23,9
Море Лаптевых	0,10	13,2	0,28	36,9	0,11	30,3	0,14	17,5	0,16	30,7
Восточно-Сибирское море	0,24	35,1	0,28	39,7	0,17	45,9	0,27	37,3	0,24	52,0
Чукотское море	0,36	37,3	0,32	38,9	0,20	52,8	0,31	44,2	0,30	53,7
Море Бофорта	0,50	55,7	0,23	40,0	0,14	40,9	0,28	42,9	0,29	58,1
Северная часть Канадского района	0,18	22,7	0,07	12,4	0,06	18,5	0,18	35,2	0,12	31,3
1989—2018 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,77	74,4	0,51	40,5	0,37	52,0	0,85	72,6	0,88	79,6
Баренцево море	1,83	69,0	0,63	37,9	0,42	43,8	1,33	79,1	1,05	79,3
Карское море	2,60	67,3	1,10	42,0	0,54	56,5	2,13	74,5	1,59	76,1
Море Лаптевых	0,99	48,7	1,10	51,5	0,54	46,5	1,73	77,2	1,09	74,7
Восточно-Сибирское море	1,17	59,9	0,72	37,8	0,36	36,4	1,22	62,1	0,87	69,4
Чукотское море	2,06	69,2	0,47	22,5	0,36	36,2	1,34	67,0	1,06	65,9
Море Бофорта	1,57	66,3	0,23	15,1	0,05	4,8	1,47	77,9	0,83	56,4
Северная часть Канадского района	1,81	80,6	0,74	52,5	0,49	43,7	0,83	58,7	0,97	78,3
2009—2018 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,67	43,0	0,84	31,5	−0,27	14,3	1,77	64,1	1,00	51,0
Баренцево море	2,93	47,8	0,54	10,8	1,33	41,6	0,63	21,4	1,36	48,6
Карское море	3,55	38,4	−0,84	10,6	0,36	10,9	−0,48	9,6	0,65	19,3
Море Лаптевых	2,01	41,0	0,83	15,7	−0,62	22,9	0,24	6,8	0,62	34,6
Восточно-Сибирское море	3,14	55,2	1,01	22,1	0,27	24,2	2,30	56,2	1,68	64,5
Чукотское море	5,58	61,9	3,01	53,3	1,17	70,8	3,41	65,1	3,29	67,4
Море Бофорта	4,15	65,6	2,52	53,6	−1,67	59,3	1,15	41,6	1,54	12,0
Северная часть Канадского района	−1,17	23,9	−0,89	24,9	−2,08	55,3	−1,37	39,6	−1,38	47,6

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

В ходе средней сезонной температуры воздуха в СПО значимый тренд обнаруживается во всех сезонах. Наиболее велико линейное повышение температуры в широтной зоне 70—85° с.ш. в весеннем сезоне — 2,16 °C за 83 года.

В течение последних тридцати лет (1989—2018 гг.) температура повышалась во всех регионах СПО. В целом для СПО линейное повышение среднегодовой температуры за 30 лет составило около 2,28 °C. В широтной зоне к северу от параллели 70° с.ш. продолжает сохраняться более высокая скорость потепления (1,04 °C/10 лет), чем к югу от параллели 70° с.ш. (0,53 °C/10 лет). В основном это обусловлено более высокой скоростью повышения температуры в зимнем и осеннем сезонах к северу от параллели 70° с.ш. (1,72 и 1,31 °C/10 лет соответственно).

В последнем десятилетнем периоде в СПО наиболее заметное повышение температуры наблюдалось в зимнем сезоне.

На акватории арктических морей в течение 1936—2018 гг. повсюду знак тренда в ходе среднегодовой температуры был положительным. Наиболее высокими темпами повышение температуры происходит в районах приатлантического и притихоокеанского секторов. Линейное повышение среднегодовой температуры воздуха в северной части Гренландского и Норвежского морей и в районах морей Чукотского и Бофорта составило около 1,99; 2,49 и 2,41 °C за 83 года.

В последнем 30-летнем периоде статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) линейный тренд в ходе среднегодовой температуры воздуха прослеживается во всех районах арктических морей. Потепление в районах морей за эти тридцать лет составило от 2,49 °C (море Бофорта) до 4,77 °C (Карское море).

Атмосферные осадки

Оценка многолетней изменчивости 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 2017—2018 гг. для СПО и для отдельных климатических районов. В целом по региону годовая сумма осадков была выше нормы на 1,2 % — главным образом, за счет более влажного холодного периода (осадков выпало выше нормы на 7,9 %). В теплом периоде осадков выпало на 7,8 % ниже нормы. По районам наименьшее количество осадков за год выпало в Канадском районе (на 11,6 % ниже нормы) и наибольшее — в Аляскинском (на 10,9 % выше нормы).

На рис. 1.2.5 приведены временные ряды годовой суммы осадков для районов арктических морей.

Таблица 1.2.6

**Относительные аномалии (%) сезонных и годовых сумм осадков
в 2017–2018 гг.**

Климатический район, широтная зона	Холодный период	Теплый период	Год
Атлантический	99,9	101,4	100,4
Североевропейский	113,1	98,3	106,7
Западно-Сибирский	108,5	91,0	100,1
Восточно-Сибирский	109,0	85,0	96,2
Чукотский	116,1	80,4	100,4
Аляскинский	135,1	90,1	110,9
Канадский	88,3	88,6	88,4
70—85° с.ш.	118,7	97,2	109,0
60—70° с.ш.	107,6	93,1	101,4
60—85° с.ш.	107,9	92,2	101,2

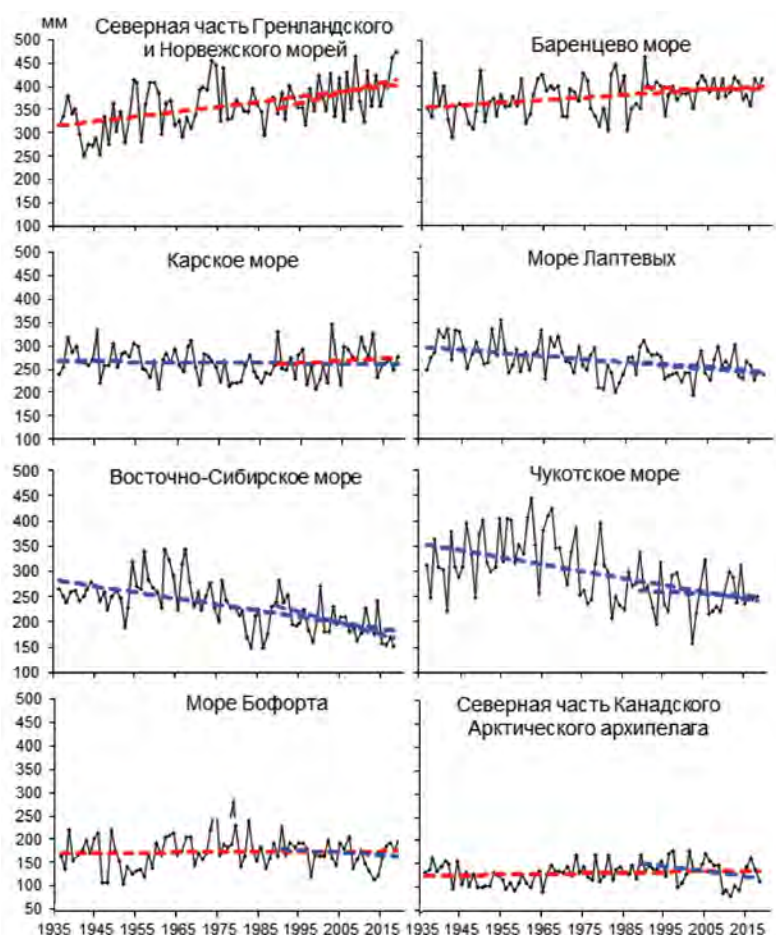


Рис. 1.2.5. Временные ряды годовой суммы осадков.

В табл. 1.2.7 представлены оценки трендов в ходе сезонных и годовых сумм осадков за период с 1936 по 2018 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 годовой суммы осадков за период 1936—2018 гг. в СПО наблюдается сохранение тенденции статистически значимого ее увеличения. Годовая сумма осадков за 83 год возросла на 5 % по сравнению с нормой за 1961—1990 гг. Однако все увеличение суммы осадков в СПО обеспечено ее устойчивым возрастанием в широтной зоне к югу от параллели 70° с.ш. (на 8 % от нормы). Здесь, в южных частях Атлантического, Североевропейского и Западно-Сибирского районов, а также в южной части Канадского Арктического архипелага увеличение годовой суммы осадков составило от 4 до 25 % от нормы.

На акватории арктических морей тенденция к уменьшению годовой суммы осадков сохраняется в районе морей азиатского сектора СПО (Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском). Уменьшение годовых сумм осадков за весь период составляет от 3 % от нормы за 1961—1990 гг. (район Карского моря) до 13 % (район Восточно-Сибирского моря).

Таблица 1.2.7

Коэффициент линейного тренда Bx (мм/10 лет) сезонных и годовых сумм осадков за период 1936—2018 гг. и изменение Δ (%) сумм осадков в долях от нормы за 1961—1990 гг.

Район, широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	Bx	Δ	Bx	Δ	Bx	Δ
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	6,64	6,5	-1,01	-2,3	5,63	4,3
Североевропейский (южная часть)	14,16	38,7	3,04	10,3	17,2	25,0
Западно-Сибирский (южная часть)	8,65	26,6	-2,35	-7,9	6,3	8,5
Восточно-Сибирский (южная часть)	2,50	13,9	-0,22	-1,0	2,28	5,5
Чукотский (южная часть)	0,14	0,6	-0,51	-2,6	-0,37	-1,3
Аляскинский (южная часть)	3,08	15,0	-0,04	-2	2,71	3,7
Канадский (южная часть)	-0,30	-1,8	2,78	15,6	2,48	7,6
60—70°с.ш.	5,19	14,4	0,28	1,1	5,47	8,2
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	10,00	35,2	0,64	4,3	10,64	24,6
Баренцево море	6,45	23,6	-0,60	-3,2	5,85	12,1
Карское море	0,19	1,2	-0,99	-6,6	-0,8	-2,6
Море Лаптевых	-2,99	-20,3	-3,17	-20,7	-6,16	-20,1
Восточно-Сибирское море	-7,09	-47,0	-5,48	-38,9	-12,57	-41,3
Чукотское море	-8,92	-42,3	-4,48	-28,7	-13,4	-35,8
Море Бофорта	-0,57	-4,9	1,26	11,8	0,69	2,7
Канадский (северная часть)	0,47	6,5	0,57	7,1	1,04	8,2
70—85°с.ш.	1,59	9,5	-0,86	-6,3	0,73	1,9
Атлантический	7,95	10,3	-0,46	-1,3	7,49	7,0
Североевропейский	11,04	33,5	1,68	6,6	12,72	20,9
Западно-Сибирский	5,09	19,9	-1,78	-7,6	3,31	5,6
Восточно-Сибирский	0,40	2,4	-1,35	-7,2	-0,95	-2,7
Чукотский	-2,82	-12,3	-2,68	-14,9	-5,5	-13,3
Аляскинский	1,77	9,9	-1,27	-6,0	0,5	0,1
Канадский	0,00	0,0	1,95	13,8	1,95	7,8
60—85°с.ш.	3,41	11,5	-0,52	-2,3	2,89	5,3

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

Относительно вклада в годовую сумму осадков теплого и холодного периода можно отметить следующее. Рост годовой суммы осадков в СПО целиком обеспечивается увеличением количества осадков в холодный период. В целом по СПО в холодный период количество осадков возросло на 12 % — в основном за счет широтной зоны 60—70° с.ш. (здесь прирост составил 14 %, а к северу от 70° с.ш. — только 10 %). На всей же территории СПО количество осадков в холодный период уменьшились лишь в Чукотском районе (на 12 %).

В теплый сезон количество осадков в СПО за период 1936—2018 гг. уменьшилось в целом по региону на 2 %. Наибольшее их уменьшение отмечалось в широтной зоне к северу от параллели 70° с.ш. (на 6 % от нормы). Статистически значимое увеличение количества осадков обнаруживается только в Канадском районе (на 14 % от 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 2018 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, по данным экспедиционных исследований в высокоширотных рейсах на судах и ле-доколах, проводимых в ААНИИ, на НИС «Ледовая база 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 по снегу и льду (НЛЦ США) за 1972—2004 гг., Канадской ледовой службы (КЛС) за 1968—1998 гг. и Японского метеорологического агентства за 1970—2006 гг.). Расчет среднемесячных значений общей сплоченности для 2018 г. выполнен на основе массива ежедневных распределений оценки общей сплоченности по алгоритму NASATEAM из архива НЛЦ США.

Со всей доступной исходной информацией можно ознакомиться на сайте ААНИИ по ссылке <http://wdc.aari.ru/datasets>.

Для иллюстрации ледовых условий в годовом цикле представлены совмещенные региональные карты ААНИИ, КЛС и НЛЦ США. Совмещение карт выполнено путем перекрытия слоев: ААНИИ (верхний слой) — КЛС (средний слой) — НЛЦ США (нижний слой). В результате карты ААНИИ характеризуют ледовые условия морей от Гренландского до Чукотского, а также Берингова, Охотского и Балтийского, карты КЛС — морей Бофорта, Баффина, Лабрадор, Девисова пролива и проливов Канадского Арктического архипелага, а карты НЛЦ — Арктического бассейна, моря Линкольна, южной части Гренландского моря (при этом полный охват карт НЛЦ — вся акватория СЛО и субполярные моря).

Для цветовой окраски карт использован стандарт ВМО (WMO/TD-No. 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 США. Однако данная несогласованность несущественна для целей интерпретации ледовых условий в рамках настоящего обзора. Исходная информация доступна на сервере МЦД МЛ по адресам <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> (карты ААНИИ), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0031> (карты КЛС), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0032> (карты НЛЦ США).

Для расчета аномалий ледовых параметров, включающих в себя оценки состояния припайного льда (толщина и взлом) и основные фазы весенних и осенних ледовых явлений (сроки очищения, сроки ледообразования) использовались нормы, рассчитанные для каждой полярной станции с момента начала наблюдений на этой станции по 2018 г. (длины рядов для расчета средних многолетних значений в среднем составляет 50—60 лет).

Для расчета аномалий площади льда в СЛО и его морях, аномалий интенсивности ее изменения в различные периоды года используются нормы, рассчитанные

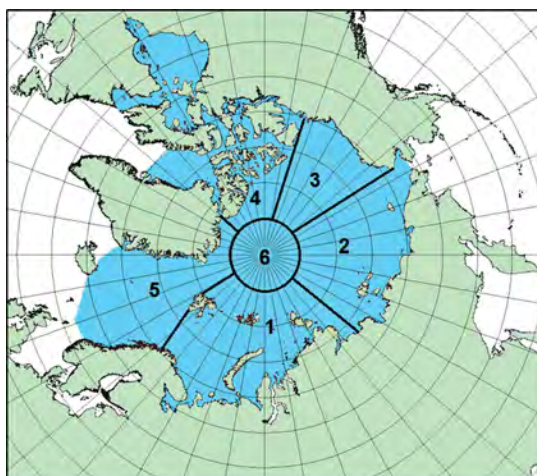


Рис. 2.В.1. Квазиоднородные районы Северного Ледовитого океана.

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

за весь доступный период глобальных микроволновых наблюдений за морским льдом в Северном полушарии с 1978 по 2018 г.

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

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

Ледообразование в осенний период предшествующего 2017 г. началось среди остаточных льдов в центральной части СЛО и в проливах Канадского Арктического архипелага в первой декаде сентября, что в среднем на 5—10 суток позднее средних многолетних сроков, и повсеместно характеризовалось низкой интенсивностью. Исключение составили два района — море Лаптевых и проливы Канадского Арктического архипелага. В начале октября волна ледообразования подошла к северной границе российских арктических морей, что на 1—2 декады позже средних многолетних сроков. В ноябре — декабре интенсивность ледообразования увеличилась, и это сразу отразилось на площади ледяного покрова. Площадь молодых льдов, сформировавшихся в СЛО и его морях с середины сентября по середину декабря, составила около 6,0 млн км², что на 0,7 млн км² больше среднего многолетнего значения (12 %).

В конце 2017 г. в Северном Ледовитом океане и его морях сложились следующие ледовые условия. В морях Карском, Чукотском и Бофорта преобладали однолетние тонкие льды. В центральных морях российского сектора Арктики (Лаптевых и Восточно-Сибирском) преобладали однолетние средние льды. Большое количество молодых льдов наблюдалось в Баренцевом море и юго-западной части Карского моря. Небольшое количество остаточных льдов сохранилось в северной части Восточно-Сибирского моря в виде вытянутого языка по меридиану архипелага Новосибирских островов. 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 Северном Ледовитом океане в конце декабря 2017 г. составила 10,94 млн км² при норме 11,57 млн км², т.е. была на 5,5 % меньше средних многолетних значений.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период январь — март 2018 г. приведены рис. 2.1.1 — 2.1.9.

Позднее начало ледообразования в осенний период и положительные аномалии температуры воздуха привели к отставанию в развитии возрастного состава ледяного покрова. Это отставание наблюдалось во всех арктических морях. В середине января в морях преобладали молодые и однолетние тонкие льды (диапазон толщины 30—70 см). Только в центральных морях российской Арктики — в море Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря, наблюдалось преобладание однолетних средних льдов (диапазон толщины 70—120 см).

Появления однолетних толстых льдов (более 120 см) в СЛО не отмечалось нигде, даже к северу от параллели 80° с.ш., что также свидетельствует о низкой интенсивности увеличения толщины ледяного покрова.

Протяженный отрог двухлетних льдов сохранялся в северной части Восточно-Сибирского моря — в районе к северу от Новосибирских островов.

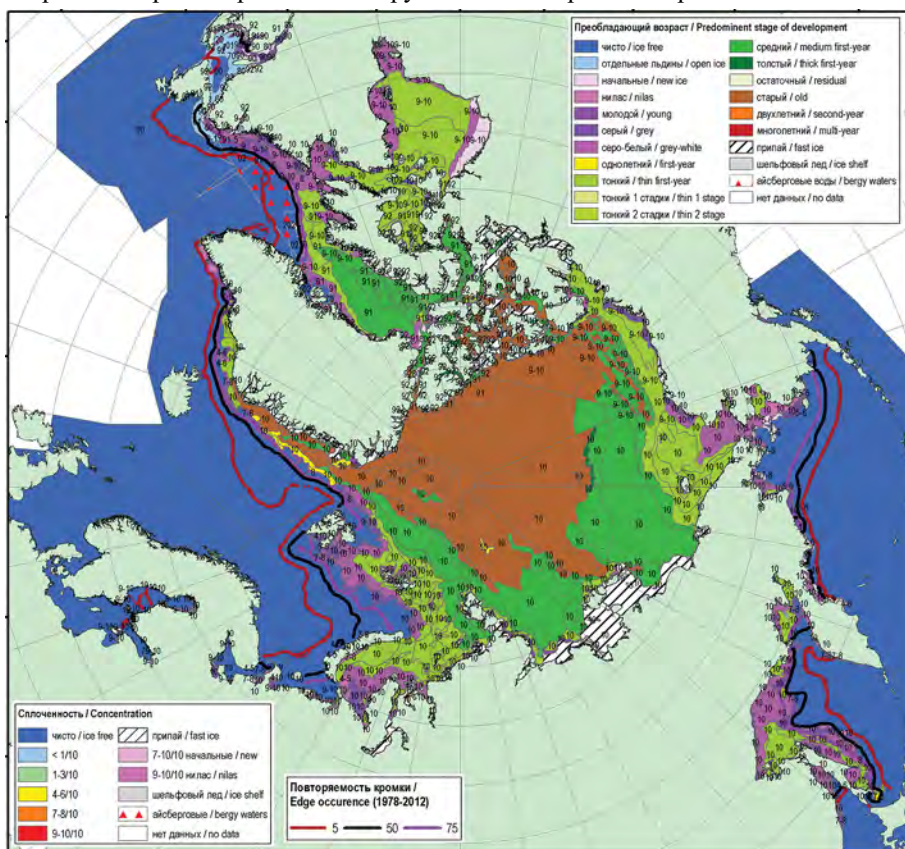


Рис. 2.1.1. Обзорная ледовая карта СЛО за 15—18 января 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

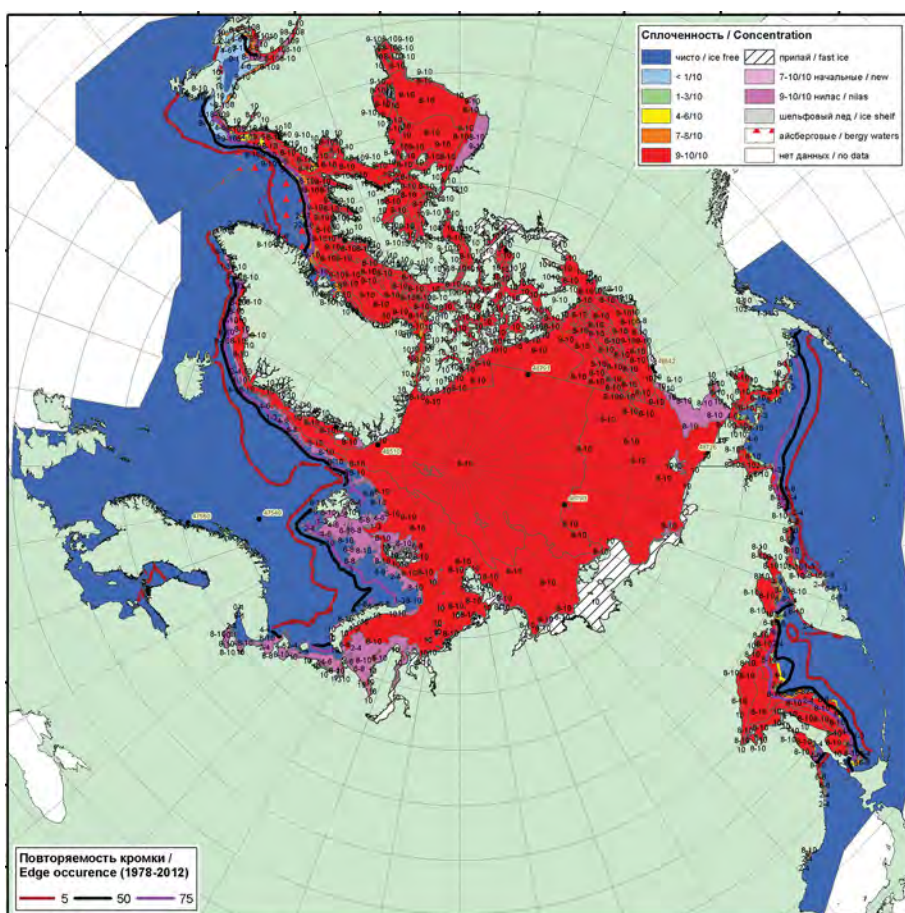


Рис. 2.1.2. Обзорная ледовая карта СЛО за 15—18 января 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

Становление припая вдоль арктического побережья всех арктических морей и в их проливах, а также в проливах островов Канадского Арктического архипелага происходило крайне медленно. Единственным районом, в котором было хорошо заметно развитие припая, был район Новосибирских островов (рис. 2.1.1).

Поле сплоченности льда было достаточно однородным. Преобладали сплоченные льды (сплоченность 9—10 баллов). Граница дрейфующих льдов в западном районе Баренцева моря обновила свое предыдущее минимальное положение для января и обозначила новый минимум (рис. 2.1.2).

В январе в СЛО наблюдалось близкое к обычному поле дрейфа ледяного покрова, состоящее из двух основных структур — Трансарктического переноса льда, развитого слабее, и Канадского антициклонического круговорота, развитого сильнее.

Трансарктический перенос льда брал свое начало в северной части Карского моря. Стрежень потока был смещен к северным границам западных арктических морей. Трансарктический перенос льда осуществлял вынос льдов из северных частей морей Баренцева и Карского и перенос этих льдов в пролив Фрама.

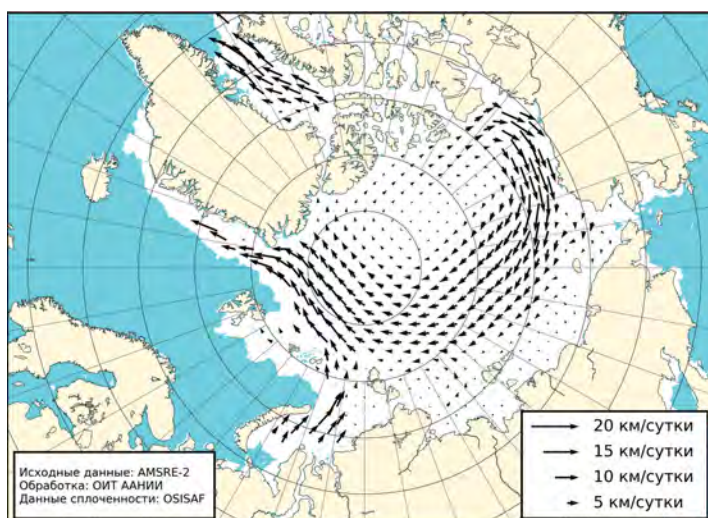


Рис. 2.1.3. Поле скорости результирующего дрейфа льда в январе 2018 г.

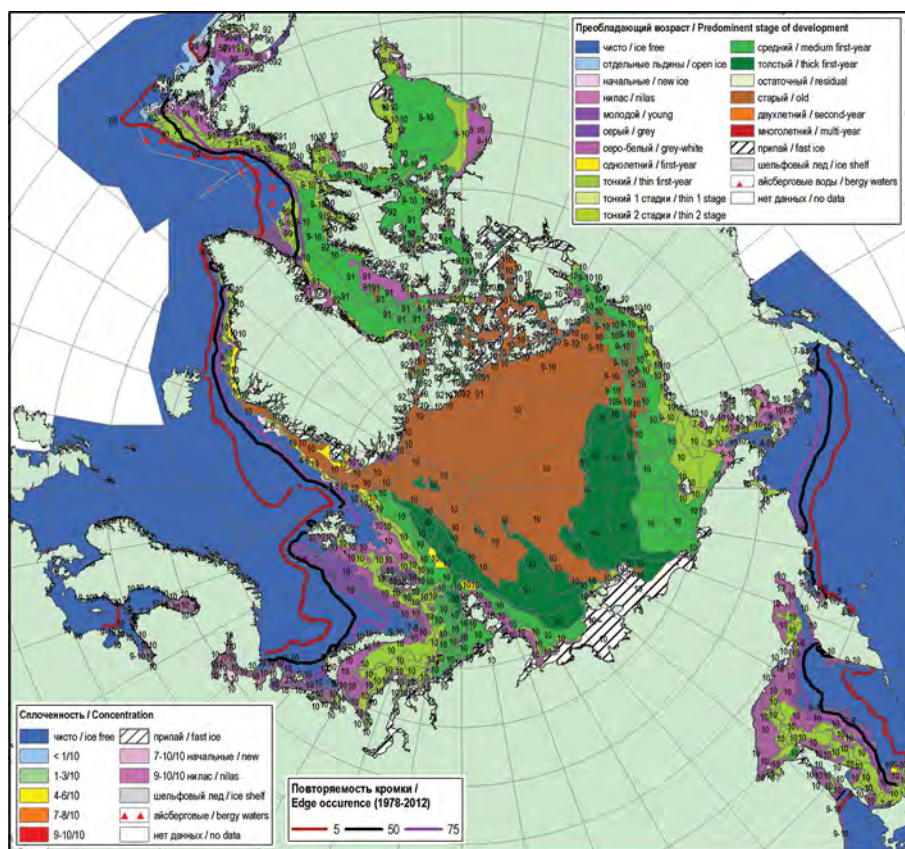


Рис. 2.1.4. Обзорная ледовая карта САО за 19—22 февраля 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

Канадский антициклонический круговорот был развит хорошо. Гигантский вихрь, занимающий 2/3 акватории океана, выносил льды из северных частей морей Бофорта, Чукотского и Восточно-Сибирского через приполюсный район к побережью Гренландии, где разделялся на две ветви. Одна ветвь круговорота выносила льды в пролив Фрама, а вторая ветвь, более слабая, поворачивала вдоль северного побережья Гренландии и далее переносила льды вдоль побережья Канадского Арктического архипелага и Аляски в море Бофорта (рис. 2.1.3).

В феврале наблюдалось увеличение интенсивности нарастания льда. В СЛО появились однолетние толстые льды, и их количество стало сравнимым с количеством однолетних средних и тонких льдов. Однолетние толстые льды заменили однолетние средние льды в зонах, примыкающих к старым льдам, а также в море Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря. В Баренцевом море преобладали молодые льды. В остальных морях преобладали однолетние средние и тонкие льды.

Припай во всех арктических морях был развит меньше, чем в среднем многолетнем. Слабо был развит припай в проливе Вилькицкого и на подходах к нему.

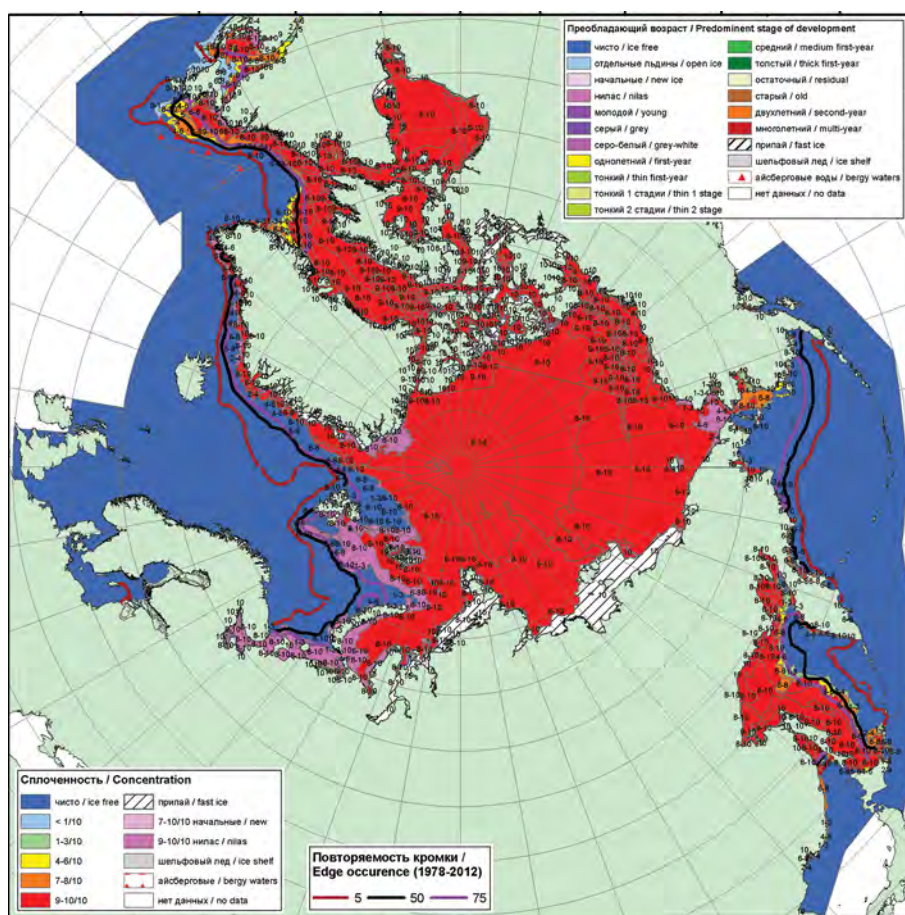


Рис. 2.1.5. Обзорная ледовая карта СЛО за 19—22 февраля 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

Заприпайных полыней не наблюдалось. Язык двухлетних льдов, наблюдавшийся в январе в северной части Восточно-Сибирского моря, сместился к западу и расположился на границе двух морей, к северу от Новосибирских островов.

На акватории всех российских арктических морей и моря Бофорта наблюдался разнородный состав льдов всех возрастных категорий — от преобладания молодых льдов в морях Баренцевом и Чукотском до преобладания однолетних толстых льдов в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском (рис 2.1.4).

Поле сплоченности льда было достаточно однородным. Преобладали сплоченные льды (сплоченность 9—10 баллов). Граница дрейфующих льдов в западном районе Баренцева моря обновила свое предыдущее минимальное положение для февраля и обозначила новый минимум (рис. 2.1.5).

В связи с кардинальной перестройкой поля давления в феврале существенно изменилось поле дрейфа ледяного покрова. Устойчивый высокоширотный перенос западного и юго-западного направлений сформировал хорошо развитый, но в значительной мере смещенный от своего обычного положения трансарктический перенос льда в направлении с запада (от Баренцева и Карского морей) на восток (до моря Бофорта).

Второй, вновь сформировавшейся и необычной структурой дрейфа стал локальный циклонический круговорот над Чукотским и Восточно-Сибирским морями с центром над островом Врангеля. Этот круговорот обусловил принос льдов из моря Бофорта в Восточно-Сибирское море.

Необходимо отметить, что сформировавшееся в феврале поле дрейфа ледяного покрова была крайне необычным (рис. 2.1.6).

В марте наблюдалось дальнейшее нарастание и развитие ледяного покрова, но интенсивность его была невелика. Об этом свидетельствуют медленное распространение однолетних толстых льдов в арктических морях и медленное увеличение толщины льда на полярных станциях. Положение границы однолетних толстых льдов в морях российского сектора Арктики в марте существенно не изменилась по сравнению с февралем, хотя в среднем в марте однолетние толстые льды уже начинают

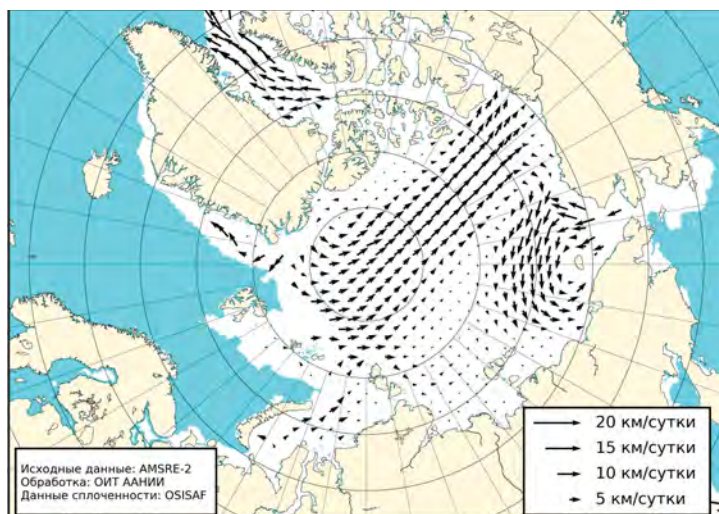


Рис. 2.1.6. Поле скорости результирующего дрейфа льда в феврале 2018 г.

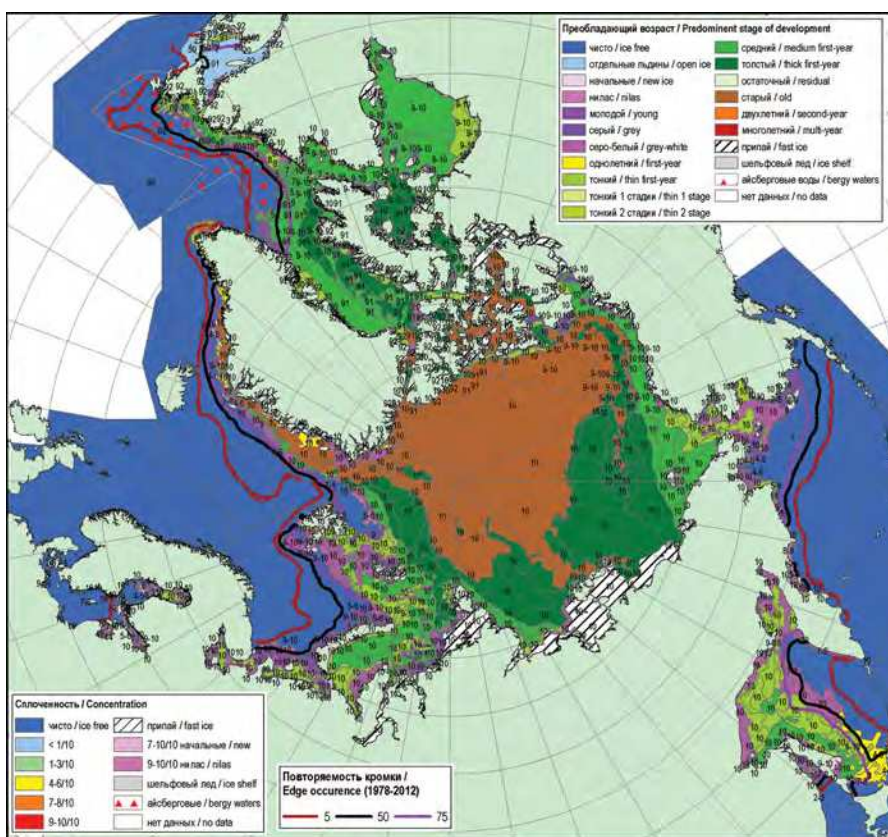


Рис. 2.1.7. Обзорная ледовая карта САО за 19—20 марта 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

преобладать на акватории большинства арктических морей. Преобладание однолетних толстых льдов наблюдалось только в северо-восточной части Карского моря, морях Лаптевых и Восточно-Сибирском, а также в северной части моря Бофорта. По-прежнему наблюдался разнородный состав льдов в морях Баренцевом, Карском и Чукотском — от молодых льдов до однолетних средних и тонких.

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

Наблюдалось весьма однородное поле сплоченности, характерное для холодных зимних месяцев, когда любая полынья или разрыв в ледяном покрове сразу покрывается начальными и молодыми льдами. В результате быстрого замерзания появившегося пространства чистой воды в холодные месяцы всегда наблюдается лед сплоченностью 9—10 баллов, хотя толщина его может быть совершенно различной (рис. 2.1.8).

В марте в результате очередной перестройки поля давления вновь сформировалась необычная структура дрейфа. В САО наблюдалось развитие только одной структуры дрейфа — Канадского антициклонического круговорота, который гигантским вихрем охватил акваторию всего САО. Центр этого гигантского круговорота располагался на севере канадского сектора Арктики. Трансарктический перенос льдов практически отсутствовал. Периферийная ветвь круговорота проходила по

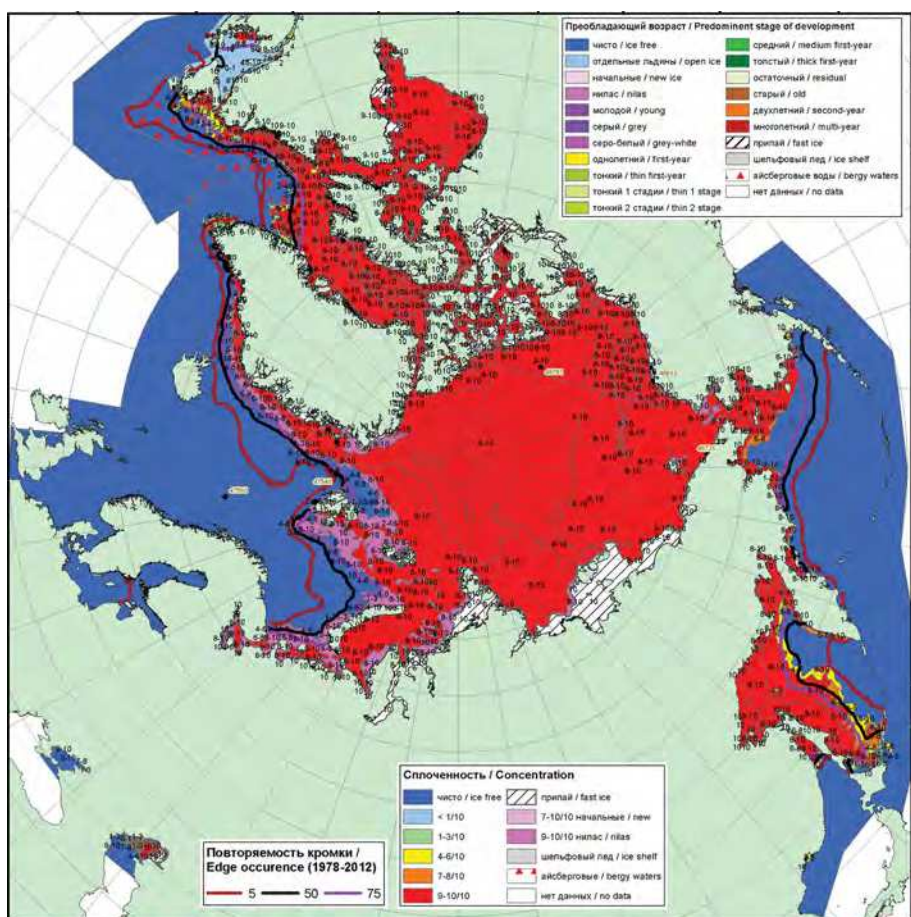


Рис. 2.1.8. Обзорная ледовая карта СЛЮ за 19—20 марта 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение сплоченности льда.

северным границам арктических морей и, доходя до Гренландии, разделялась на две ветви. Одна ветвь круговорота выносила льды в пролив Фрама, а вторая, более слабая, поворачивала вдоль северного побережья Гренландии и далее дрейфовала вдоль побережья Канадского Арктического архипелага и Аляски, перенося льды в северную часть Чукотского моря (рис. 2.1.9).

Результирующее поле среднemesячного дрейфа в марте приведено на рис. 2.1.9.

Позднее начало ледообразования и низкая интенсивность нарастания льда в морях в течение зимних месяцев 2018 г. привели к тому, что толщина льда, по данным полярных станций, на акватории всех арктических морей была на 20—30 см меньше нормы.

Развитие припая в морях в течение первых зимних месяцев происходило с малой интенсивностью и в более поздние сроки. Площадь припая во всех российских арктических морях была меньше средних многолетних значений. Однако впервые за последние годы полностью сформировался и устойчиво сохранялся в течение зимних месяцев припай в проливе Вилькицкого. В середине марта суммарная пло-

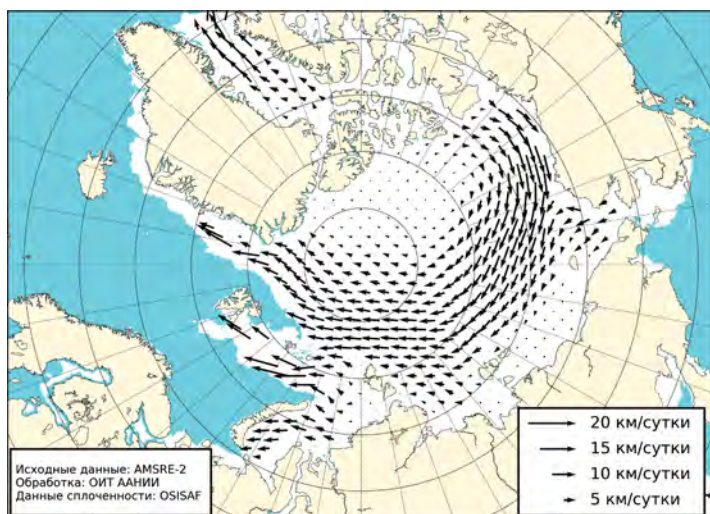


Рис. 2.1.9. Поле скорости результирующего дрейфа льда в марте 2018 г.

щадь припая в российских арктических морях составила 437 тыс. км² при норме 586 тыс. км², что на 25 % 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 2018 г. составило 11,7 млн км², что на 2 % меньше среднего многолетнего значения (за ряд с 1978 г.) и очень близко к норме за последнее десятилетие. Количество льда, наблюдавшееся в СЛО в конце марта 2018 г., оказалось больше, чем в предыдущих 2016 и 2017 гг. (см. рис. 2.14 а).

Необходимо отметить, что если в начале января 2018 г. отрицательная аномалия площади льда в СЛО составила 5,5 %, то за первый квартал 2018 г. аномалия сократилась почти на 3,5 % и составила 2 %. Это свидетельствует о достаточно интенсивном накоплении льда в СЛО в первом квартале года. Однако возрастной состав льдов и их толщина, по данным ИСЗ и полярных станций, были меньше средних многолетних значений.

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

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период апрель — июнь 2018 г. приведены на рисунках 2.2.1 — 2.2.10.

В *апреле* наблюдалось дальнейшее развитие ледяного покрова и переход однолетних средних льдов в возрастную градацию однолетних толстых льдов в большинстве районов окраинных арктических морей. Однако на обширных акваториях Баренцева моря, юго-западной части Карского и Чукотского морей сохранялось преобладание однолетних средних и тонких льдов. Процесс нарастания льда в весенний период 2018 г. происходил со значительным запаздыванием по сравнению с нормой.

Заприпайные полыньи в арктических морях были развиты крайне слабо, в связи с чем молодых льдов (толщиной до 30 см) наблюдалось также мало. Заприпайная полынья наблюдалась только в восточной части моря Лаптевых и в Чукотском море.

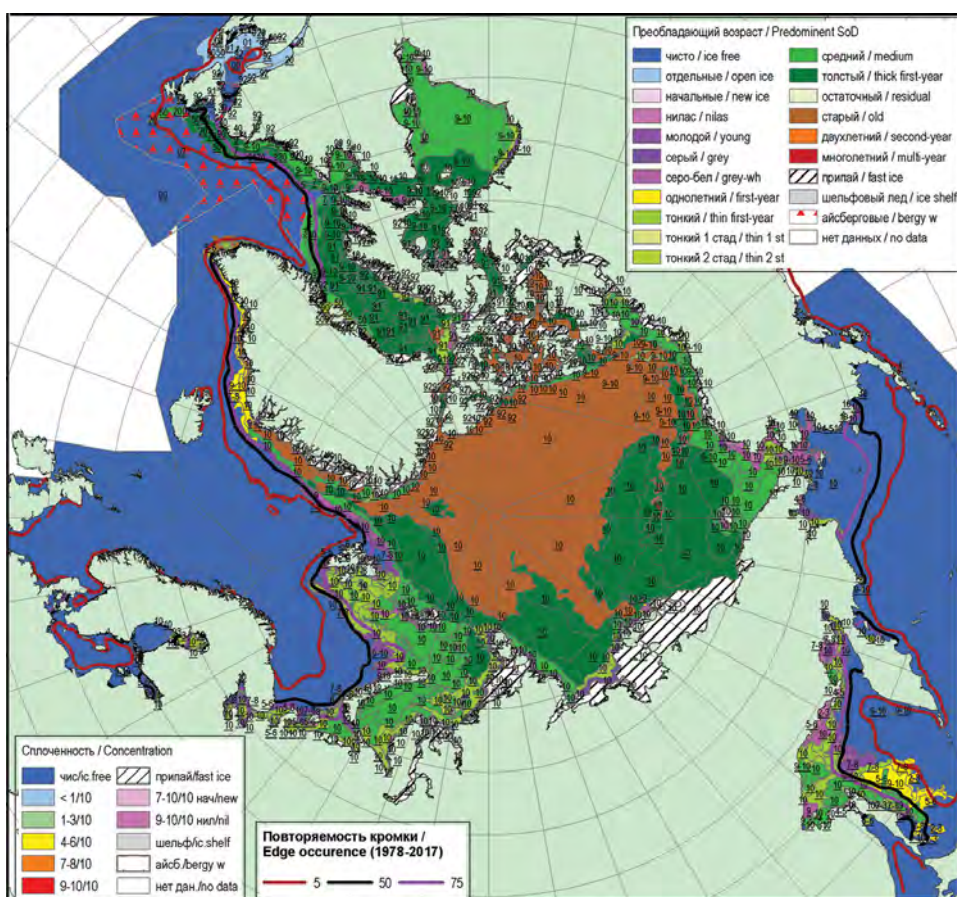


Рис. 2.2.1. Обзорная ледовая карта СЛО за 16—24 апреля 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

Был хорошо развит припай в районе Новосибирских островов и в районе архипелага Северная Земля со стороны Карского моря, включая пролив Вилькицкого. В то же время припай в Обь-Енисейском районе, у западного побережья Ямала, восточного побережья Таймыра и Чукотского побережья был развит слабо.

Старые льды наблюдались в гренландском, канадском секторах и в приполюсном районе Арктики. К северу от Новосибирских островов, на границе между морями Восточно-Сибирским и Лаптевых, сохранялся небольшой по ширине, но протяженный язык двухлетних льдов (рис. 2.2.1).

Поле сплоченности ледяного покрова было достаточно однородным: преобладали льды сплоченностью 9—10 баллов. Граница дрейфующих льдов во всех морях с открытой границей — Гренландском, Баренцевом, Баффина — была близка к среднему многолетнему положению (рис. 2.2.2).

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

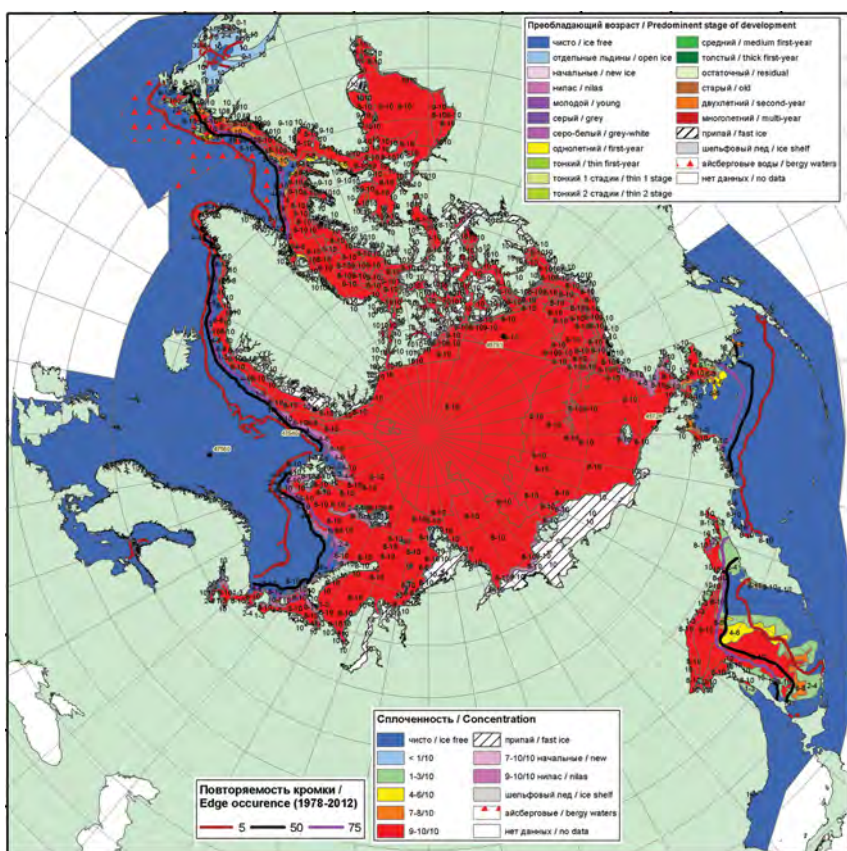


Рис. 2.2.2. Обзорная ледовая карта СЛО за 16—24 апреля 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС, НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

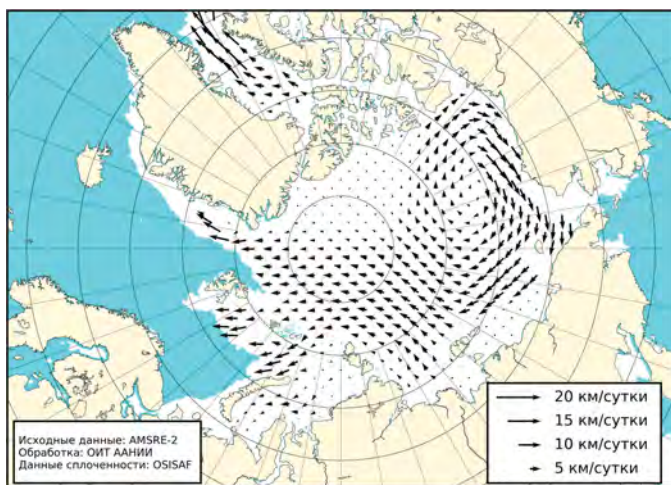


Рис. 2.2.3. Поле скорости результирующего дрейфа льда за апрель 2018 г.

Трансарктический перенос льдов брал свое начало в северной части моря Лаптевых к западу от Новосибирских островов. Это приводило к выносу однолетних льдов из моря Лаптевых в приполюсный район. Далее из приполюсного района в результате трансарктического дрейфа льды выносились в пролив Фрама.

Центр Канадского антициклонического круговорота находился в своем классическом положении — над центром моря Бофорта. По его периферии происходил перенос льдов вдоль побережья островов Канадского Арктического архипелага и далее вдоль побережья Аляски в северную часть Чукотского моря (рис. 2.2.3).

В мае, который считается периодом максимального развития и накопления 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 35—40 % общего количества льда составляли старые льды. Оставшееся количество льда было представлено однолетними средними и тонкими льдами, которые наблюдались в прикромочных районах Гренландского, Баренцева моря и юго-западной части Карского морей, а также в зонах формирования заприпайных полыней. Количество молодых льдов было незначительным.

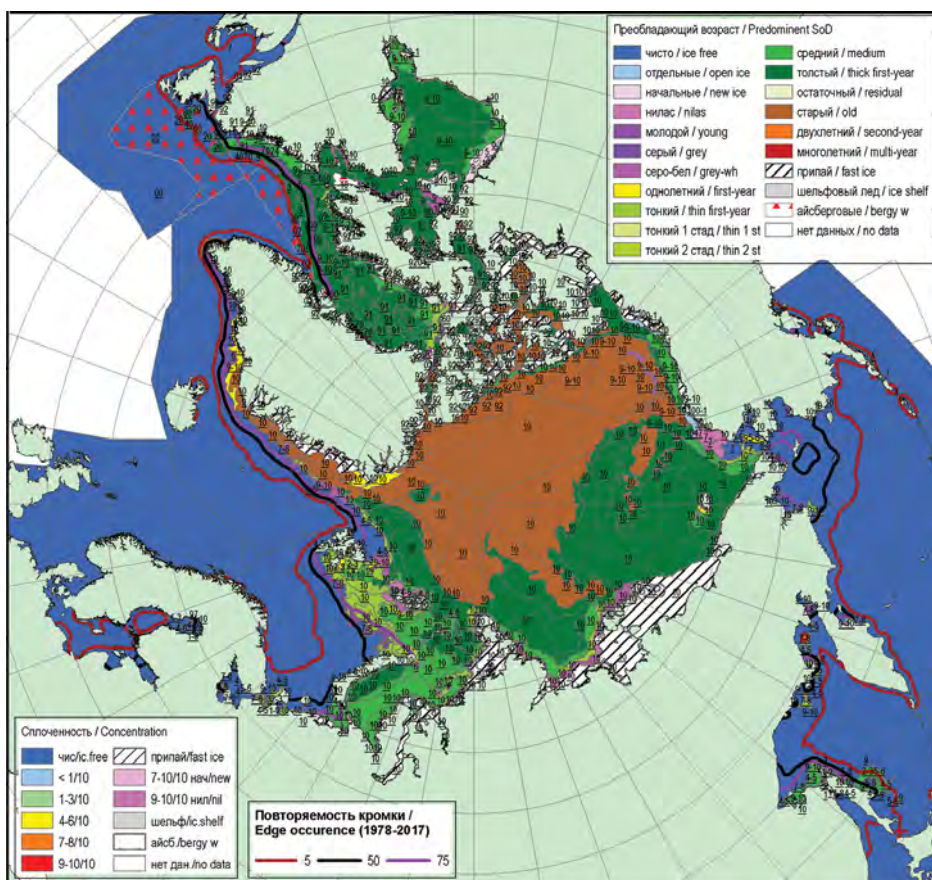


Рис. 2.2.4. Обзорная ледовая карта СЛО за 14—22 мая 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

Однолетние льды занимали весь российский сектор Арктики и более половины гренландского сектора Арктики. Старые льды наблюдались преимущественно в гренландском и канадском секторах Арктики и в приполюсном районе (рис. 2.2.4).

Поле сплоченности ледяного покрова было достаточно однородным: преобладали льды сплоченностью 9—10 баллов. Значительное разряжение, связанное с выносом теплых берингоморских вод, образовалось в Чукотском море. Положение границы дрейфующих льдов в этом районе обновило исторический минимум.

Площадь припая в конце мая (период максимального нарастания) была близка к средним многолетним значениям во всех российских арктических морях. Только припай в районе Новосибирских островов был развит более значительно, и его площадь на 8 % превышала среднее многолетнее значение. В конце мая суммарная площадь припая в российских арктических морях составляла 648 тыс. км², т. е. была на 6 % больше среднего многолетнего значения (рис. 2.2.5).

Толщина припайного льда, по данным наблюдений на полярных станциях, была меньше нормы практически во всех арктических морях российского сектора Арктики. Отрицательная аномалия толщины припайного льда на период максимального нарастания (конец мая) составляла 20—30 см (рис. 2.2.6).

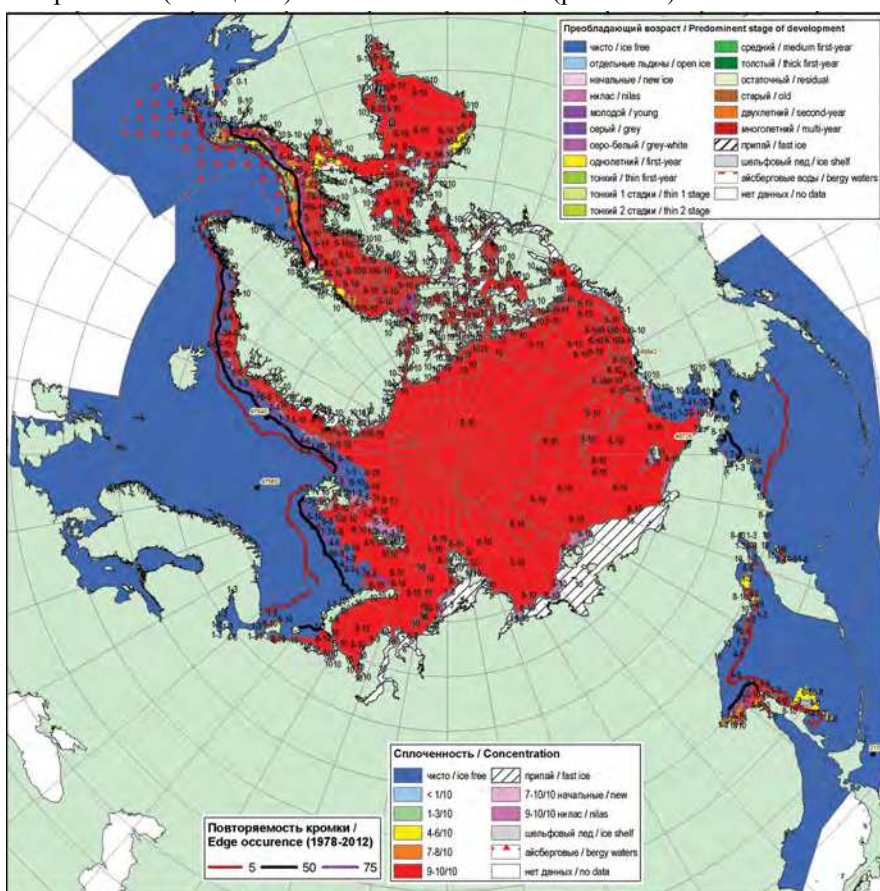


Рис. 2.2.5. Обзорная ледовая карта СЛО за 14—22 мая 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

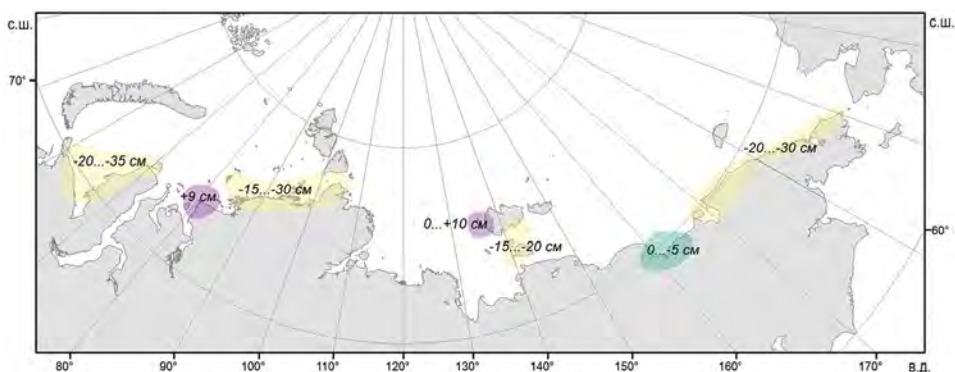


Рис. 2.2.6. Аномалия толщины льда в морях российских секторов Арктики по данным полярных станций на период максимального нарастания в 2018 г. (конец мая).

В поле дрейфа продолжало сохраняться развитие основных структур дрейфа — Трансарктического переноса и Канадского антициклонического круговорота, причем их взаимное положение практически не изменилось по сравнению с апрелем.

Стрежень Трансарктического переноса практически не изменил своего положения и по-прежнему начинался в северной части моря Лаптевых. Перенос льдов от северной части моря Лаптевых через приполюсный район к побережью Гренландии и далее в пролив Фрама обусловил вынос льдов из морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

Сохранялось обширное развитие Канадского антициклонического круговорота, который наблюдался в виде развитого круговорота с центром над северной частью моря Бофорта. По периферии круговорота однолетние льды из Восточно-Сибирского и Чукотского морей выносило в приполюсный район, где они вытесняли многолетние льды. Прибрежная ветвь дрейфа проходила вдоль побережья островов Канадского Арктического архипелага и Аляски и далее уходила в северную часть Чукотского и Восточно-Сибирского морей. В результате выноса льдов у побережья

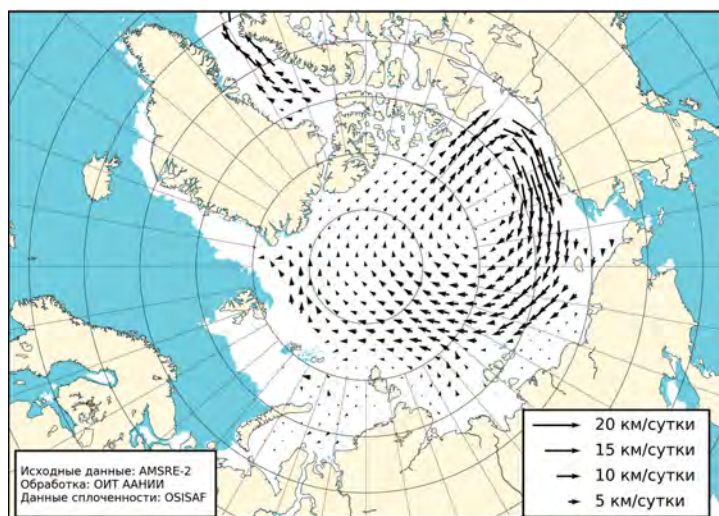


Рис. 2.2.7. Поле скорости результирующего дрейфа льда за май 2018 г.

полуострова Аляска в восточной части Чукотского моря сформировалось обширное прибрежное разряжение (рис. 2.2.7).

Протяженный язык старых льдов, который в апреле находился на границе двух морей — Лаптевых и Восточно-Сибирского — и нависал над Новосибирскими островами, в мае переместился в западном направлении на расстояние 50—100 км. В результате устойчивого выноса в процессе Трансарктического переноса льдов из приполюсного района большое количество старых льдов было замещено однолетними льдами, переместившимися сюда из северных частей морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

В июне изменения в возрастном составе льда были незначительными в связи с тем, что процессы изменения ледяного покрова и его толщины только начались (рис. 2.2.8).

Более значительные изменения были обусловлены динамическими процессами и связаны с воздушными переносами, адвекцией тепла и дрейфом льдов. Началось быстрое очищение окраинных морей западного и восточного районов российского сектора Арктики — Баренцева и Чукотского. В этих морях сформировались круп-

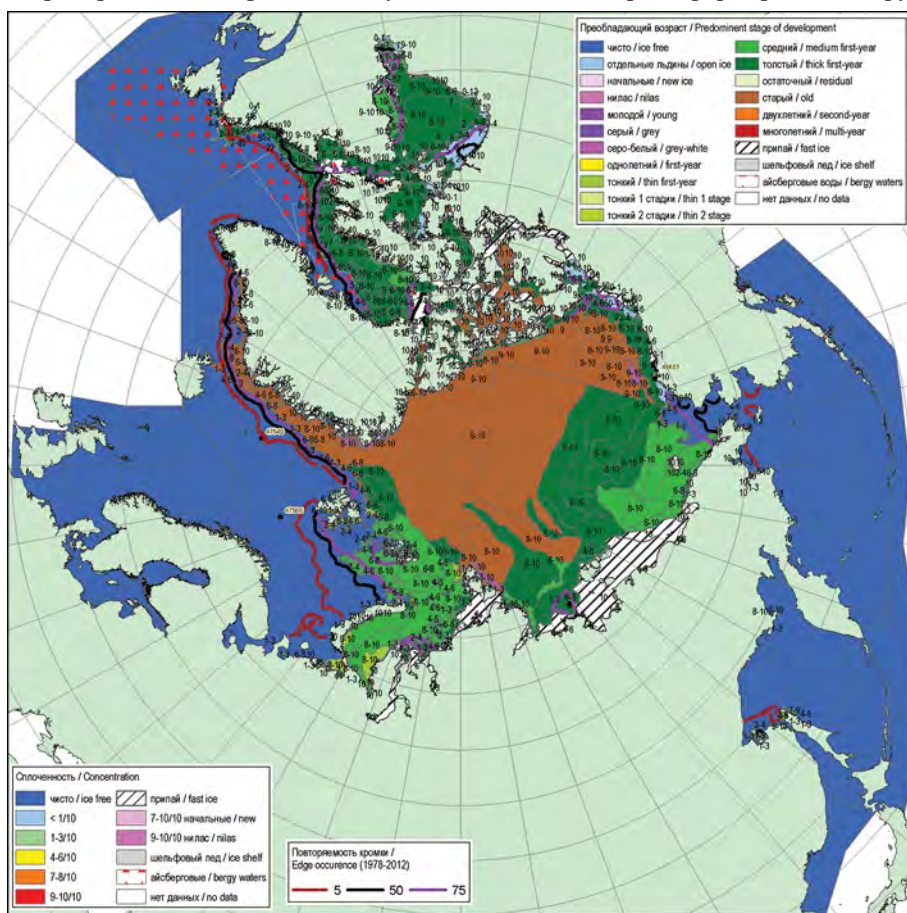


Рис. 2.2.8. Обзорная ледовая карта СЛО за 11—14 июня 2018 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

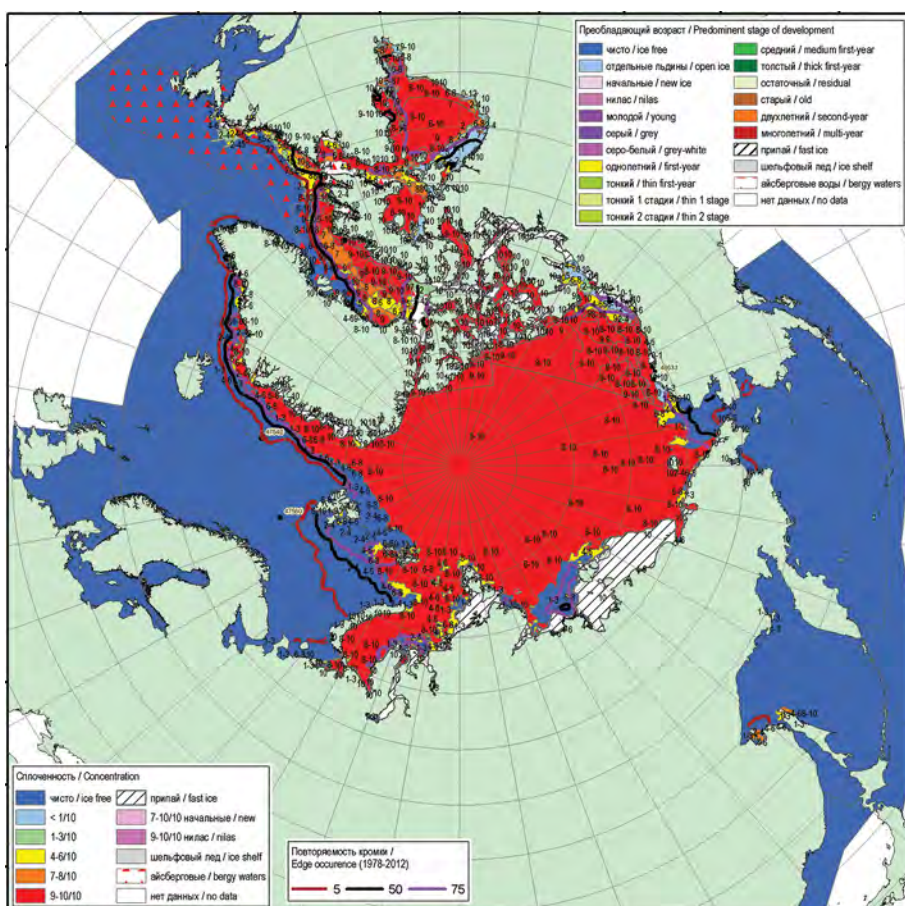


Рис. 2.2.9. Обзорная ледовая карта СЛО за 11—19 июня 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

ные положительные аномалии ледовитости. В конце июня аномалии ледовитости в Баренцевом и Чукотском морях составили 25 и 27 % соответственно. Обширные разряжения льда сформировались также в заприпайных зонах ряда морей.

Таким образом, в течение июня сформировались три обширных центра очищения арктических морей — в северной части Баренцева моря, в центральной части моря Лаптевых и в юго-западной части Чукотского моря (рис. 2.2.9).

В июне в поле дрейфа льда в СЛО, и прежде всего в восточном секторе Арктики, произошли определенные изменения.

Трансарктический перенос льда сохранился и был хорошо развит. Однако произошло смещение его стрежня к западу. Начало переноса переместилось в северную часть западного района моря Лаптевых, к району островов архипелага Северная Земля. Наблюдался интенсивный вынос льда из моря Лаптевых, а также из северной части Карского моря.

Произошедшие масштабные изменения циркуляции атмосферы в восточном секторе Арктики привели к полному разрушению Канадского антициклонического круговорота как единой структуры дрейфа и формированию слабого и плохо выра-

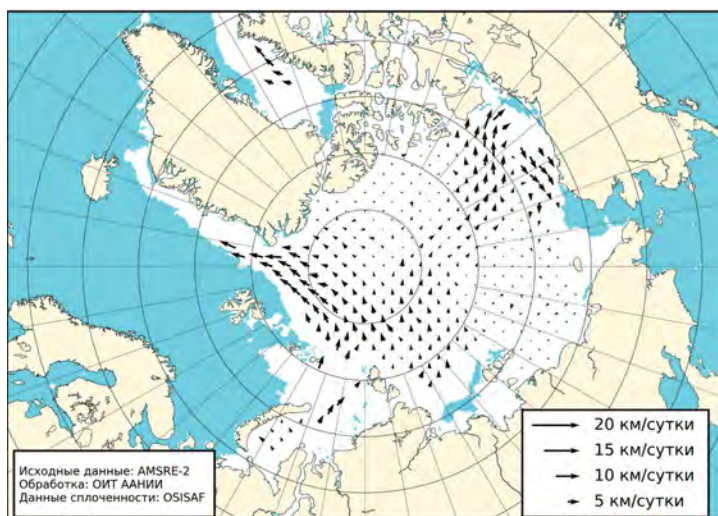


Рис. 2.2.10. Поле скорости результирующего дрейфа льда за июнь 2018 г.

женного круговорота с несколькими центрами. В результате действия многоцентровых вихрей лед слабо дрейфовал в генеральном направлении вдоль побережья Аляски и выносился в северные части Восточно-Сибирского и Чукотского морей (рис. 2.2.10).

Общее количество льдов в Северном Ледовитом океане в конце второго квартала 2018 г. по оценкам, выполненным ГНЦ РФ ААНИИ, составило 9,6 млн км², что на 6,7 % меньше среднего многолетнего значения по длинному ряду наблюдений (с 1978 по 2018 г.). Вместе с тем площадь ледяного покрова в СЛО в конце второго квартала 2018 г. оказалась очень близкой к норме по короткому ряду (с 2006 по 2018 г.).

Интересно отметить динамику изменения площади ледяного покрова в СЛО за первое полугодие 2018 г. Если в начале года отрицательная аномалия общего количества льда в СЛО составила 5,5 %, то в конце второго квартала 2018 г. отрицательная аномалия составила 6,7 %. Таким образом, за второй квартал 2018 г., в который входит период интенсивного накопления льда (апрель — май), произошло увеличение по абсолютной величине (на 1,2 %) отрицательной аномалии ледовитости. Это свидетельствует о меньшем накоплении льдов в Северном Ледовитом океане перед началом летнего периода.

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

Развитие ледовых условий в СЛО и его морях в летний период началось на благоприятном фоне. В конце июня наблюдалось формирование трех обширных центров очищения СЛО — в северной части Баренцева моря, в центральной части моря Лаптевых и в юго-западной части Чукотского моря, которые послужили очагами быстрого очищения районов морей от льдов.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период июль — сентябрь 2018 г. приведены на рисунках 2.3.1 — 2.3.9.

В июле интенсивное очищение наблюдалось практически во всех окраинных арктических морях — от Баренцева до Лаптевых и в Чукотском. Аномалии ледови-

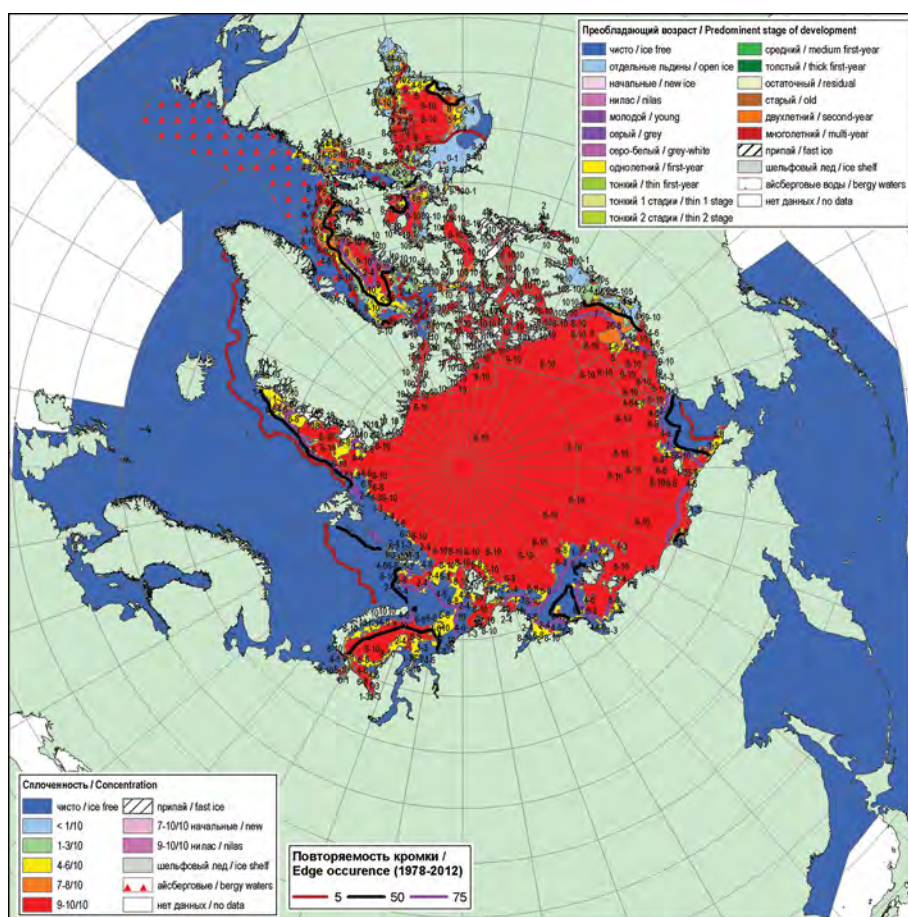


Рис. 2.3.1. Обзорная ледовая карта СЛО за 16—25 июля 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

тости в этих морях составляли –30...–50 %. Значительно медленнее процессы таяния развивались в морях Восточно-Сибирском и Бофорта.

Припай в российских арктических морях полностью разрушился в середине июля, что произошло в среднем на 5—10 суток раньше средних многолетних сроков. Припай островов Канадского Арктического архипелага сохранился до конца июля (рис. 2.3.1).

Распределение льдов по возрасту приведено на рис. 2.3.2. Необходимо отметить, что в построении ледовой карты СЛО по преобладающему возрасту использовались данные только Канадской ледовой службы и НЛЦ США. По данным этих ледовых служб в центральной части Восточно-Сибирского моря отмечается значительная зона преобладания однолетних средних льдов. Начиная с июня, эти ледовые службы начали ошибочно выделять в Восточно-Сибирском море обширную зону с преобладанием однолетних средних льдов, хотя в мае, по данным ААНИИ, все Восточно-Сибирское море было покрыто однолетним толстым льдом.

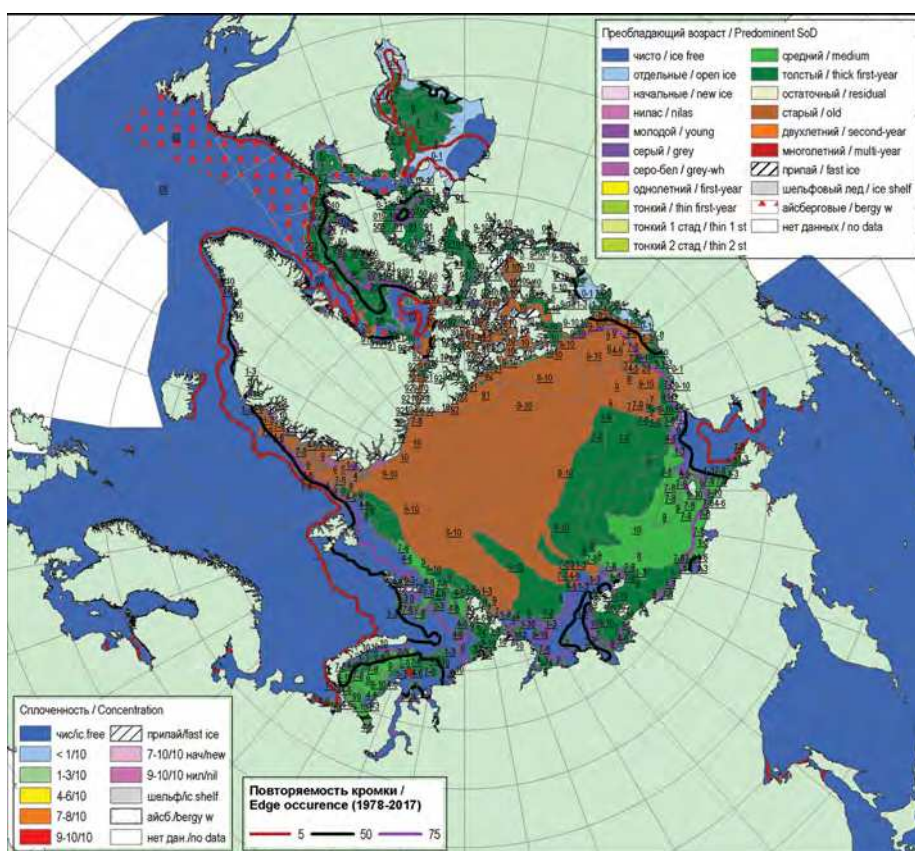


Рис. 2.3.2. Обзорная ледовая карта СЛЮ за 16—19 июля 2018 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

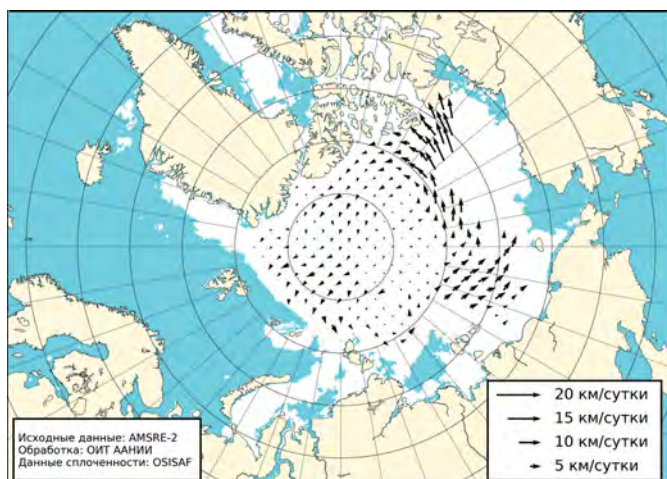


Рис. 2.3.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июле 2018 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

Дрейф ледяного покрова в июле приведен на рис. 2.3.3. Вместо обычных структур дрейфа, наблюдаемых в СЛО — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота, в июле практически на всей акватории океана сформировался большой плохо выраженный циклонический вихрь. Крупный циклонический вихрь с центром над приполюсным районом обусловил перенос льдов из морей Чукотского и Бофорта в канадский и гренландский секторы Арктики (рис. 2.3.3).

В течение *августа* продолжалось сокращение площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане. Большая часть окраинных арктических морей российского сектора Арктики (за исключением Восточно-Сибирского) полностью очистилась от льдов. В окраинных морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости, составляющие по морям от 20 до 50 %. Значительное разряжение льдов в результате таяния произошло также в море Бофорта. В Восточно-Сибирском море сохранялось большое количество сплоченных льдов. Ледовитость моря была больше нормы на 10—20 %, что наблюдалось впервые за последние 10 лет.

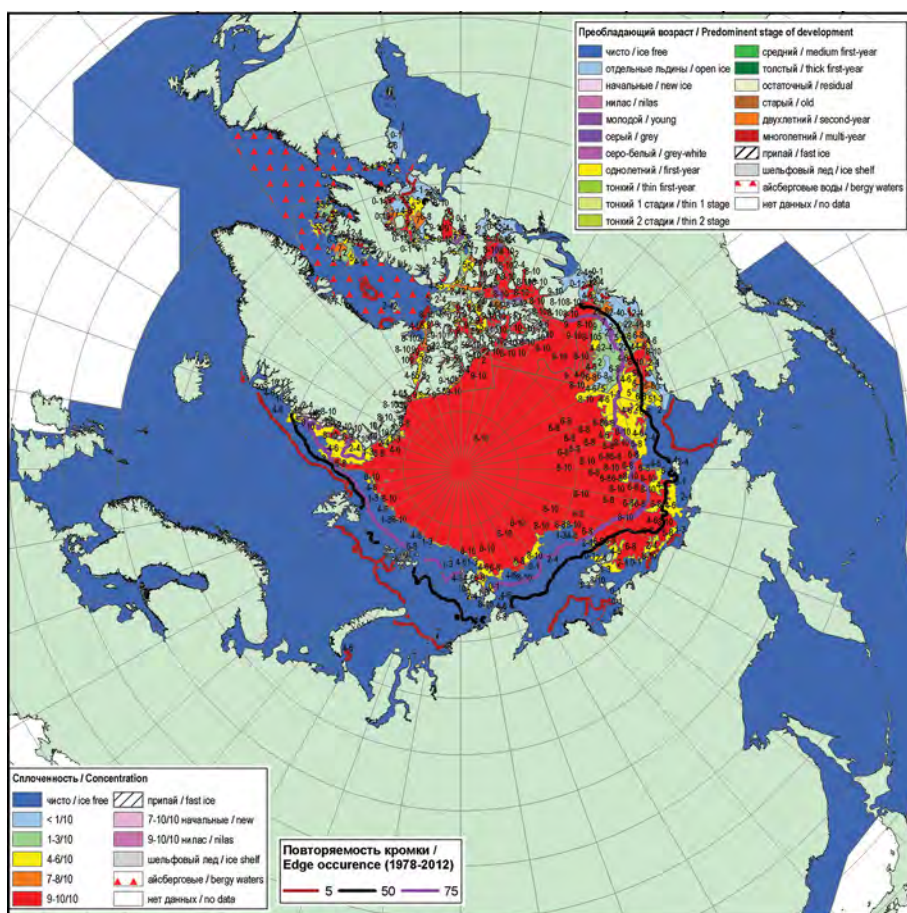


Рис. 2.3.4. Обзорная ледовая карта за 13—21 августа 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

Отступление границы дрейфующих льдов на север в морях Баренцевом, Карском, и Лаптевых в августе 2018 г. была аномально высоким. Граница дрейфующих льдов в этих морях обновила свое предыдущее минимальное положение для августа и обозначила новый минимум (рис. 2.3.5).

Возрастной состав льда по данным ледовых служб Канады и США был завышен, особенно в северной и центральной частях Восточно-Сибирского моря (рис. 2.3.5).

В августе в поле дрейфа льда произошла существенная перестройка. Традиционных структур дрейфа в СЛО не наблюдалось. Разрушился гигантский циклонический вихрь, который наблюдался в июле. Вместо него сформировался один мощный Трансарктический перенос льдов, состоящий из двух разнонаправленных ветвей.

Первая ветвь переноса представляла собой слабо развитую часть Трансарктического переноса льдов. Эта ветвь была сильно смещена к западу и началась из северных частей морей Карского и Лаптевых, уходя через приполюсный район непосредственно в пролив Фрама.

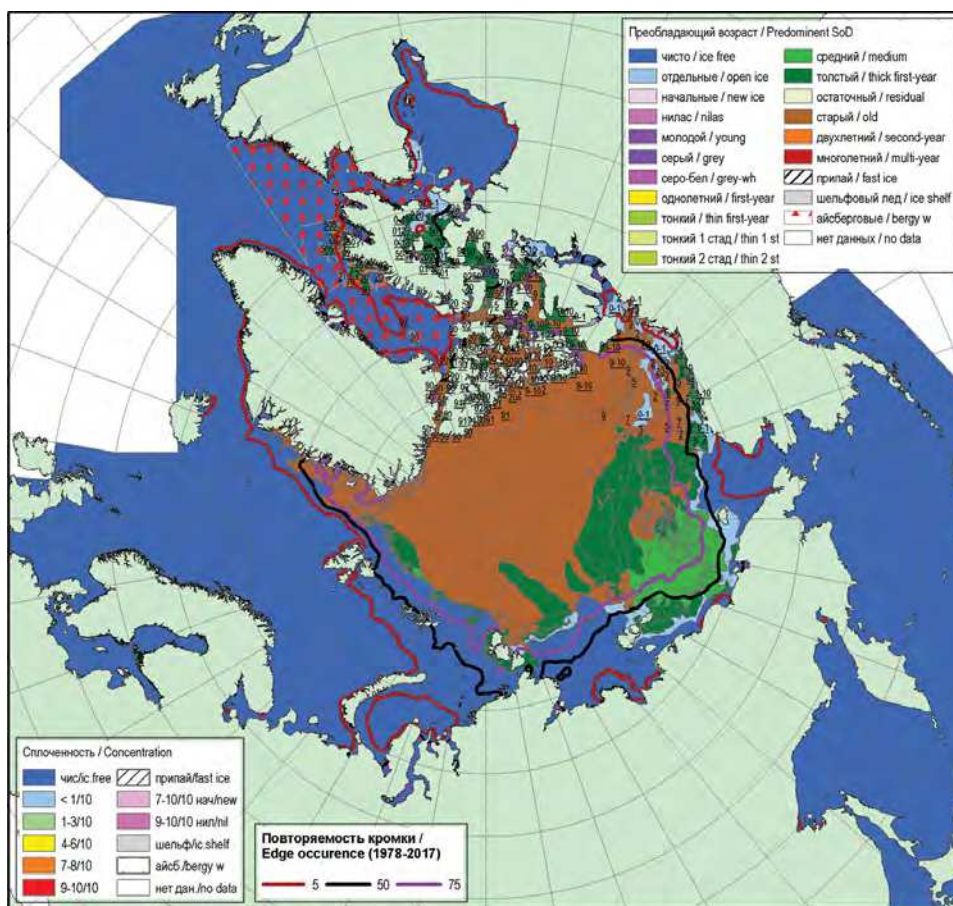


Рис. 2.3.5. Обзорная ледовая карта СЛО за 20—23 августа 2018 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

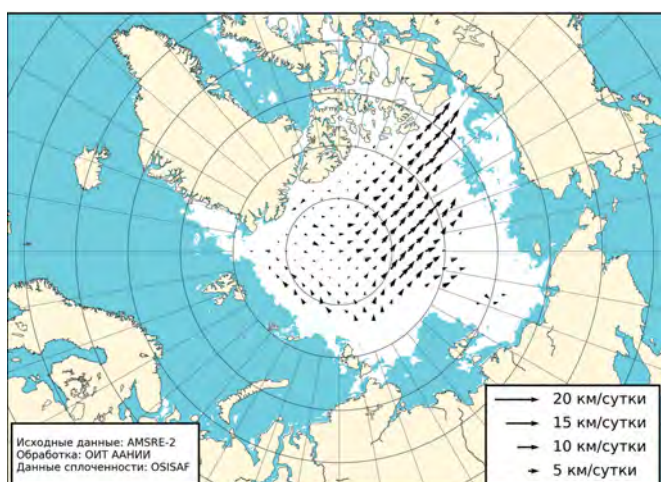


Рис. 2.3.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в августе 2018 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

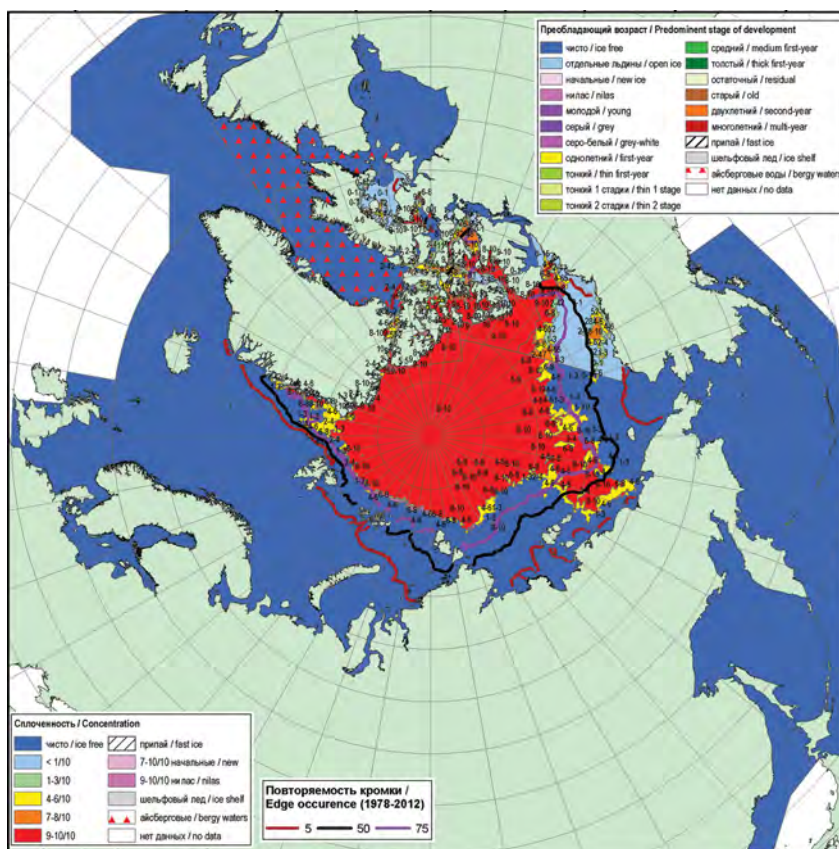


Рис. 2.3.7. Обзорная ледовая карта за 10—18 сентября 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

Вторая, более мощная ветвь Трансарктического переноса начиналась из северной части моря Лаптевых и через приполюсный район уходила к островам Канадского Арктического архипелага. Часть льдов по периферии этого потока приносило в Восточно-Сибирское море, в результате чего в нем поддерживалась значительная ледовитость (рис. 2.3.6).

В середине сентября сокращение площади ледяного покрова в СЛО и морях прекратилось. Среди остаточных льдов к северу от параллели 80° с.ш. началось ледообразование.

Во второй половине сентября по широкому фронту — от Баренцева моря до моря Бофорта — у границы остаточных льдов на чистой воде начали появляться начальные и молодые льды. Ледообразование в осенний период 2018 г. в СЛО началось в среднем на 15—20 суток позже средних многолетних сроков. Ледообразование развивалось крайне медленно. До конца сентября ширина полосы начальных и молодых льдов вдоль границы старых льдов к северу от параллели 80° с.ш. не превышала 50—100 км. Таким образом, характерной чертой осеннего ледообразования в 2018 г. является его позднее начало и медленное развитие.

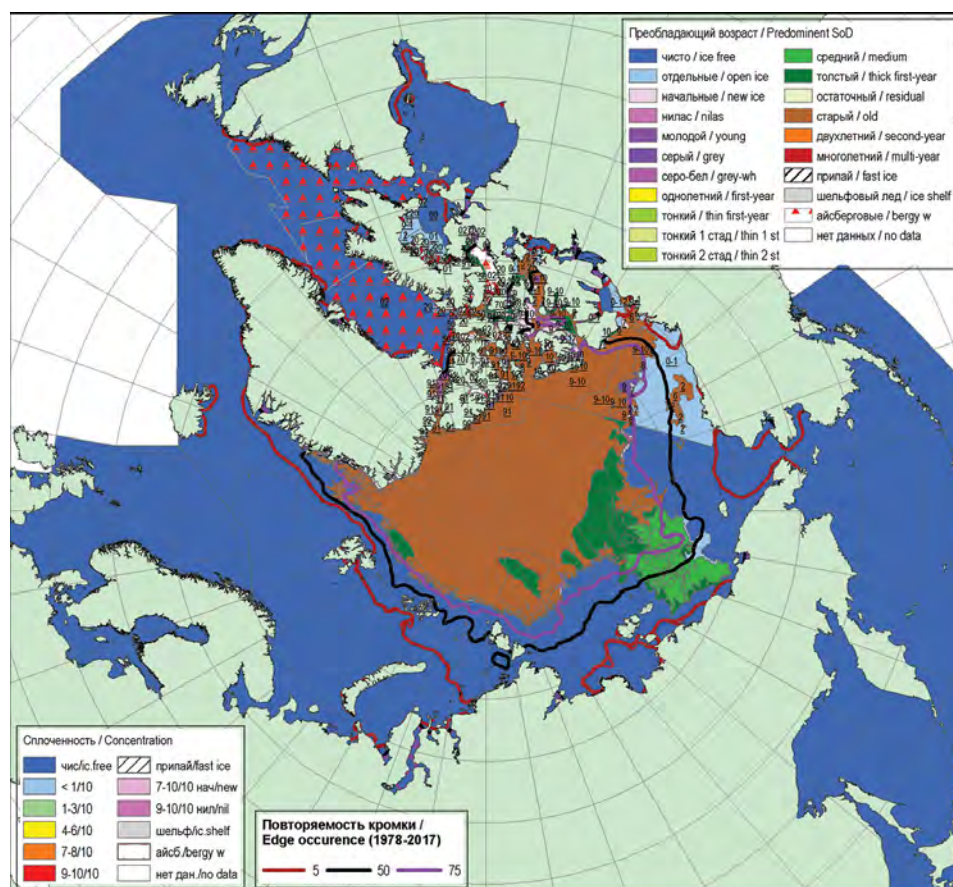


Рис. 2.3.8. Обзорная ледовая карта СЛО за 10—13 сентября 2018 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

Основная масса льдов, сохранившихся после периода летнего таяния в СЛО, была смещена в приполюсный район, гренландский и канадский секторы Арктики. Обширный язык остаточных льдов наблюдались в центральной части Восточно-Сибирского моря (рис. 2.3.7).

Распределение льдов по возрасту приведено на рис. 2.3.8. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту в сентябре также построена по данным ледового анализа КЛС и НЛЦ США. По данным этих ледовых служб в северной и центральной части Восточно-Сибирского моря сохраняется значительная зона однолетних средних льдов, наличие которой, как отмечалось выше, недостоверно.

В осенний период 2018 г. был в очередной раз обновлен минимум положения границы остаточных льдов в секторе 45° з.д. — 95° в.д. (Гренландское — Карское моря) и в отдельных районах морей Лаптевых и Бофорта (рис. 2.3.8).

Дрейф ледяного покрова приведен на рис. 2.3.9. В сентябре на акватории СЛО сформировалась классическая схема дрейфа. Наблюдался хорошо развитый Трансарктический перенос, который начинался в северной части моря Лаптевых. Далее в результате дрейфа льды через приполюсный район выносились к побережью Гренландии и в пролив Фрама. Также наблюдался развитый Канадский антициклонический круговорот, который выносил льды к островам Канадского Арктического архипелага и в море Бофорта (см. рис. 2.3.9).

Для периода максимального накопления льда (начало мая) и максимального разрушения льда (конец сентября) был выполнен расчет толщины и объема льда в СЛО в 2018 г. Оценка толщины и объема льда были выполнены на модели совместной циркуляции вод и льдов Северного Ледовитого океана AARI-IOCM (разработка ААНИИ).

На рис. 2.3.10 представлено распределение средней толщины льда (с учетом торосов) по результатам расчетов на 1 мая и 1 октября 2018 г. Площадь ледяного покрова по расчетам составляет 11,4 и 4,9 млн км² соответственно, что очень хорошо

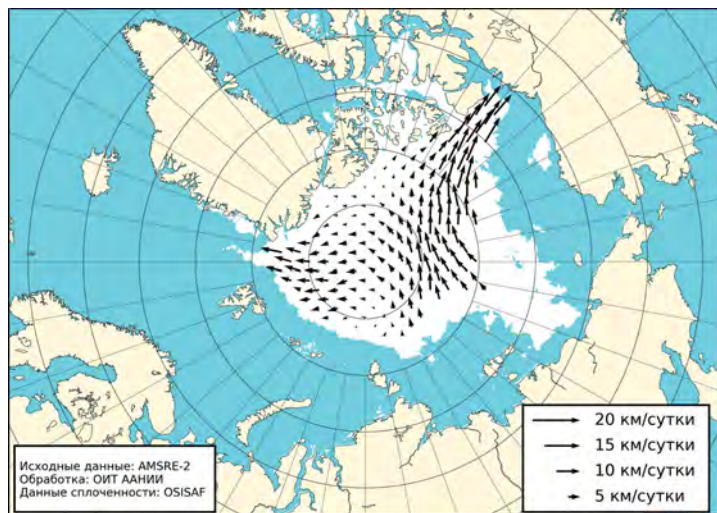


Рис. 2.3.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в сентябре 2018 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

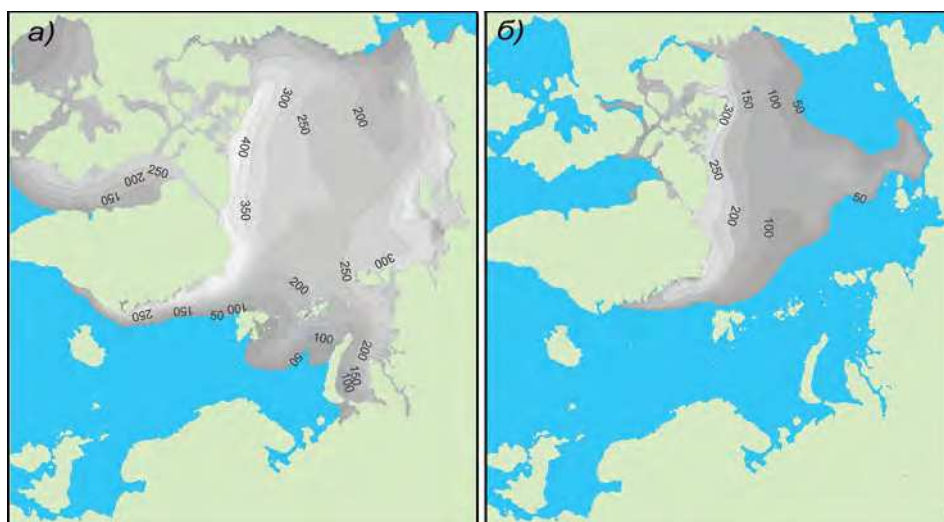


Рис. 2.3.10. Распределение средней толщины льда (с учетом торосов) в СЛО по результатам расчетов на 1 мая (а) и 1 октября 2018 г. (б) (модель AARI-IOCM).

соответствует фактическим данным (начало мая — 11,4 млн км² и начало октября — 5,3 млн км²). Сокращение площади ледяного покрова в СЛО в летний период 2018 г. составило 6,1 млн км².

Объем льда на указанные выше даты составил 24,1 и 9,8 тыс. км³ соответственно. Таким образом, сокращение объема ледяного покрова в летний период в результате таяния и разрушения льда и выноса его в пролив Фрама составило 14,3 тыс. км³.

По оценкам, выполненным в ААНИИ, площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2018 г. составила 4,7 млн км² при норме 6,1 млн км² (норма по ряду наблюдений с 1978 по 2018 г.), что на 23 % меньше средних многолетних значений. По площади остаточного льда 2018 г. стал шестым по рангу минимумов в группе легких лет.

Таблица 2.3.1

Значения ледовитости за 17—23 сентября 2018 г. и ее аномалии по отношению к значениям за периоды 2006—2018 и 1978—2018 гг. (по данным наблюдений SSMR — SSM/I — SSMIS)

Район, сектор	S, тыс. км ²	Аномалия, тыс. км ²						
		2013	2014	2015	2016	2016	2008– 2018	1978– 2018
СЛО	4724,8	–445,6	–441,0	169,0	353,6	–25,8	21,9	–1387,7
Сектор 45° з.д. — 95° в.д. (моря Гренландское — Карское)	996,7	175,1	–381,9	–260,7	–147,1	–95,4	–166,1	–442,6
Сектор 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское)	1164,1	–406,8	–71,6	–49,6	–184,9	–358,0	–154,6	–822,5
Сектор 170 — 45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика)	2445,8	–291,0	–50,4	307,1	447,1	269,4	247,1	–240,4

Вместе с тем важно отметить, что площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2018 г. на 22 тыс. км² превышала среднее значение «короткого ряда» (ряда наблюдений за последнее «теплое» десятилетие с 2008—2017 гг.). Также больше остаточного льда наблюдалось в секторе 170 — 45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика). В этом секторе остаточное количество льда превышало среднее значение за последнее десятилетие на 247 тыс. км² (табл. 2.3.1).

На рис. 2.4.11 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и его отдельных секторов за период с 26 октября 1978 г. по 17 сентября 2018 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 СЛО было меньше среднего многолетнего значения (нормы за 1978—2017 гг.), но не опускалось ниже крайних экстремальных значений, которые наблюдались в 2012 и 2016 гг. Низкая ледовитость СЛО в 2018 г. была обусловлена малой ледовитостью двух секторов Арктики: 45° з.д. — 95° в.д. (Гренландское — Карское моря) и 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское). В отличие от малой ледовитости, наблюдаемой в этих секторах, в секторе 170—45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика) ледовитость была достаточно высокой в зимний и весенний сезон и в целом за год приблизилась к норме за весь ряд наблюдений (с 1978 по 2018 г.).

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

Распределение ледяного покрова по возрастным грациям и по сплоченности, а также поля среднемесячного дрейфа льда за каждый месяц за период октябрь — декабрь 2018 г. приведены на рис. 2.4.1 — 2.4.9.

После легких ледовых условий, сложившихся к концу летнего периода, ледообразование в осенний период 2018 г. началось позже средних многолетних сроков. В центральной части СЛО и в проливах Канадского Арктического архипелага начальные льды стали отмечаться в первой декаде сентября, что в среднем на 10—15 суток позже средних многолетних сроков.

Ледообразование в *октябре* 2018 г. характеризовалось низкой интенсивностью повсеместно, кроме морей Восточно-Сибирского и Бофорта, в которых после летнего таяния сохранялись остаточные льды. Среди остаточных льдов в этих морях ледообразование начиналось значительно раньше, чем на чистой воде.

В середине октября волна ледообразования подошла к северной границе всех арктических морей. Молодыми льдами были полностью покрыты центральная часть Восточно-Сибирского моря, проливы Канадского Арктического архипелага, море Бофорта. Ледообразование началось в прибрежных районах морей Карского и Лаптевых. Остальные окраинные моря — Гренландское, Баренцево, Чукотское — оставались полностью свободными от льда.

Среди массива старых льдов в СЛО в третьей декаде октября начал наблюдаться переход молодых льдов в возрастную грацию однолетних тонких льдов (рис. 2.4.1).

Количество молодых льдов, появившихся в СЛО и его морях с середины сентября по середину октября, составило около 1,3 млн км², что было на 28 %

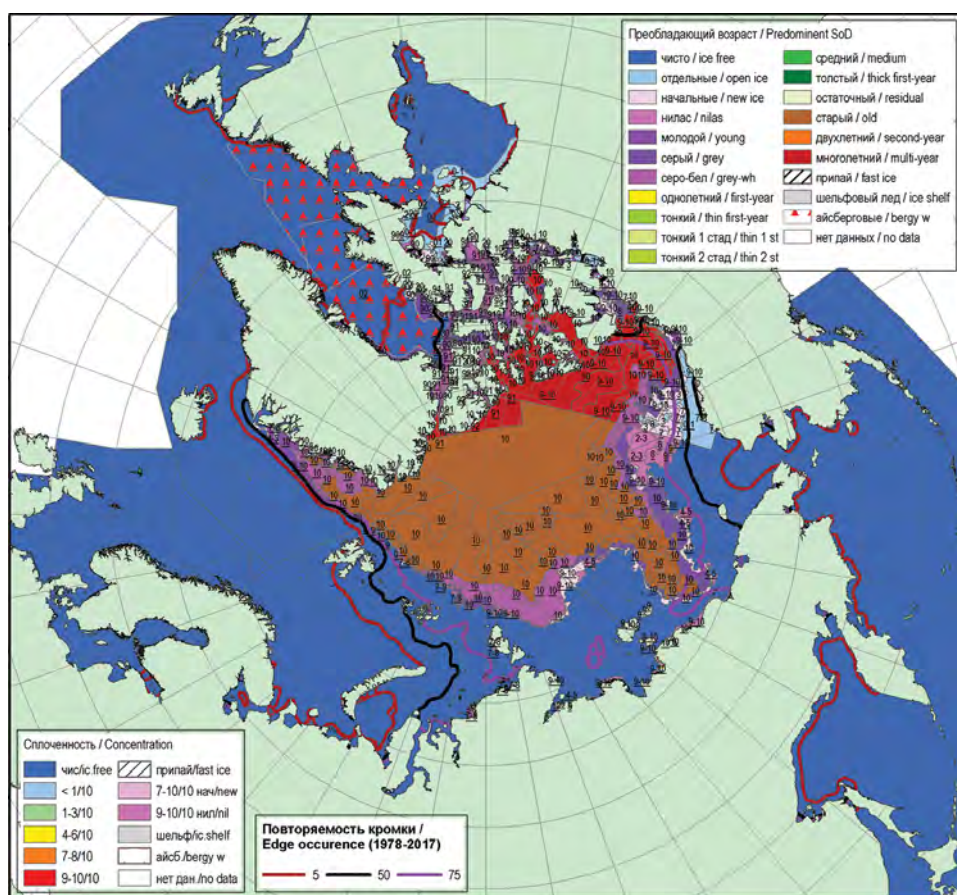


Рис. 2.4.1. Обзорная ледовая карта СЛО за 15—23 октября 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

меньше среднего многолетнего значения за ряд наблюдений 1979—2018 гг. (норма 1,8 млн км²).

Поле сплоченности ледяного покрова в тех районах, в которых ледообразование уже началось, было достаточно однородным. Здесь преобладали льды сплоченностью 9—10 баллов. Среди островов Канадского Арктического архипелага начал образовываться припай (рис. 2.4.2).

В октябре был хорошо развит Трансарктический перенос льда. Его стрежень был смещен к востоку и располагался в направлении от северной границы моря Лаптевых через приполюсный район к северному побережью Гренландии. У побережья Гренландии поток дрейфующего льда поворачивал на запад и попадал в пролив Фрама.

Канадский антициклонический круговорот был развит слабо. Его центр располагался над северной частью моря Бофорта. В результате смещения центра круговорота в море Бофорта лед по периферии круговорота выносился к северному побережью островов Канадского Арктического архипелага и далее в северную часть моря Бофорта (рис. 2.4.3).

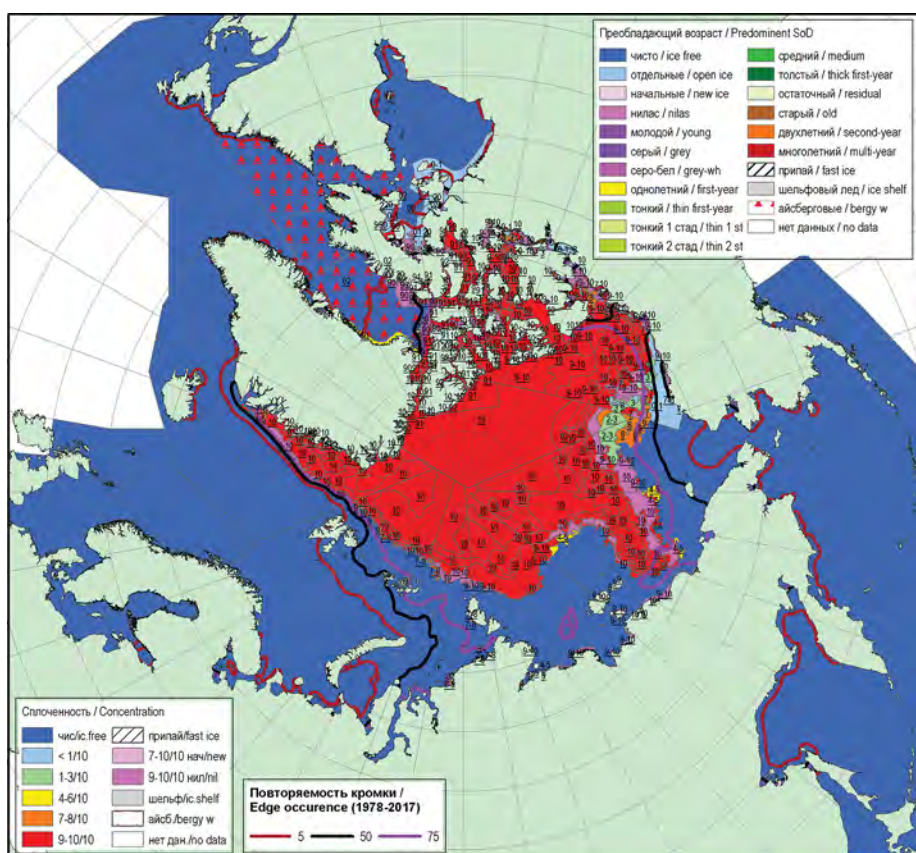


Рис. 2.4.2. Обзорная ледовая карта СЛО за 15—23 октября 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

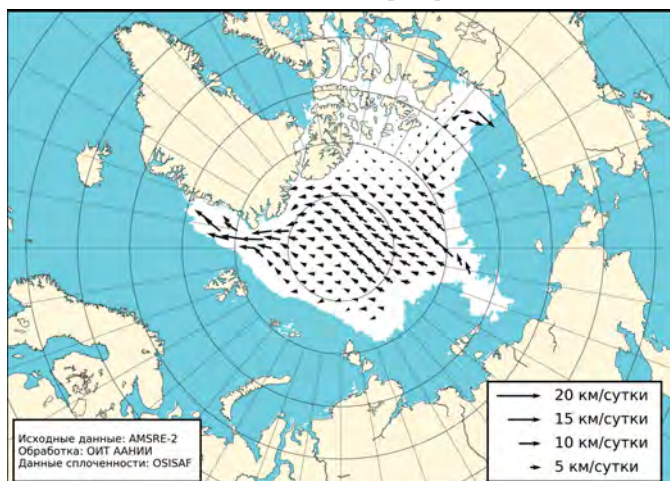


Рис. 2.4.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в октябре 2018 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

В ноябре интенсивность ледообразования и увеличения площади льда значительно возросла. Наблюдалось очень быстрое покрытие акватории арктических морей молодыми льдами.

Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины октября по середину ноября, было экстремально большим за весь период наблюдений 1978—2018 гг. и составило 3,5 млн км², что на 60 % превысило среднее многолетнее значение по этому ряду наблюдений (2,2 млн км²).

Интенсивность нарастания толщины льда также была достаточно большой и хорошо прослеживалась по появлению однолетних тонких льдов на акватории морей. Если в начале ноября в окраинных арктических морях российского сектора Арктики преобладали молодые льды, то в середине ноября на значительной части акватории морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Бофорта наблюдались однолетние тонкие льды (диапазон толщины 30—70 см).

Зоны преобладания старых льдов занимали весь приполюсный район, гренландский и канадский секторы Арктики. Гигантский и протяженный отрог старых льдов наблюдался в центральной части Восточно-Сибирского моря (рис. 2.4.4).

Сплоченные льды наблюдались на акватории всего океана и его окраинных морей. Свободной от льда оставалась только большая часть акваторий Баренцева и

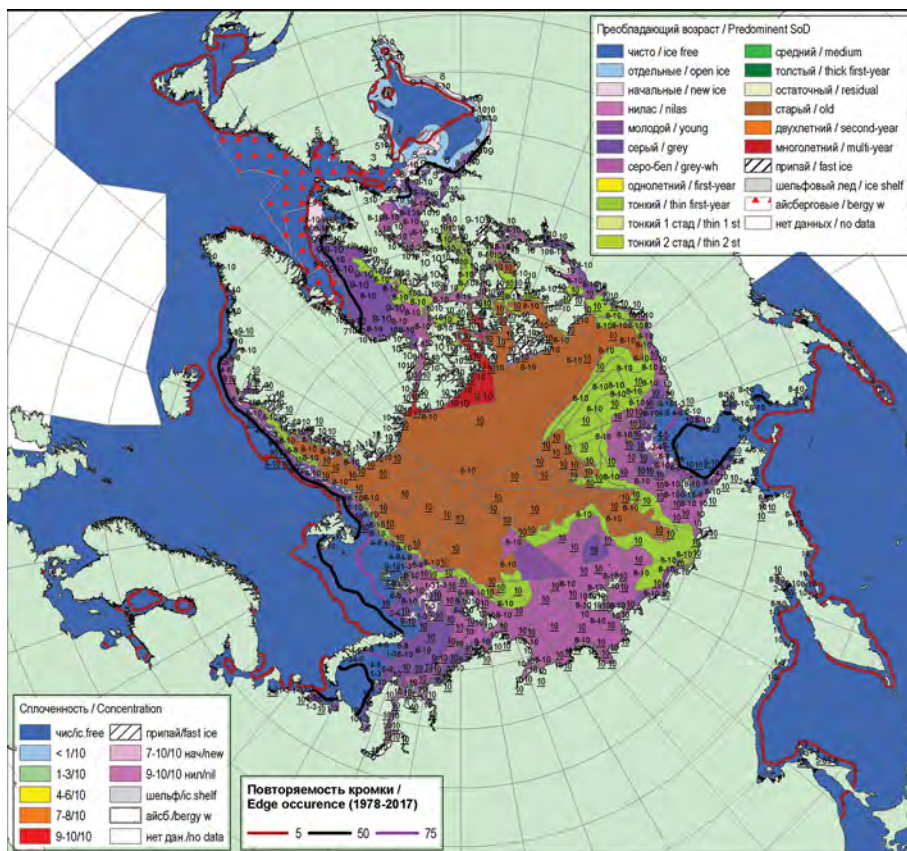


Рис. 2.4.4. Обзорная ледовая карта СЛО за 12—20 ноября 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

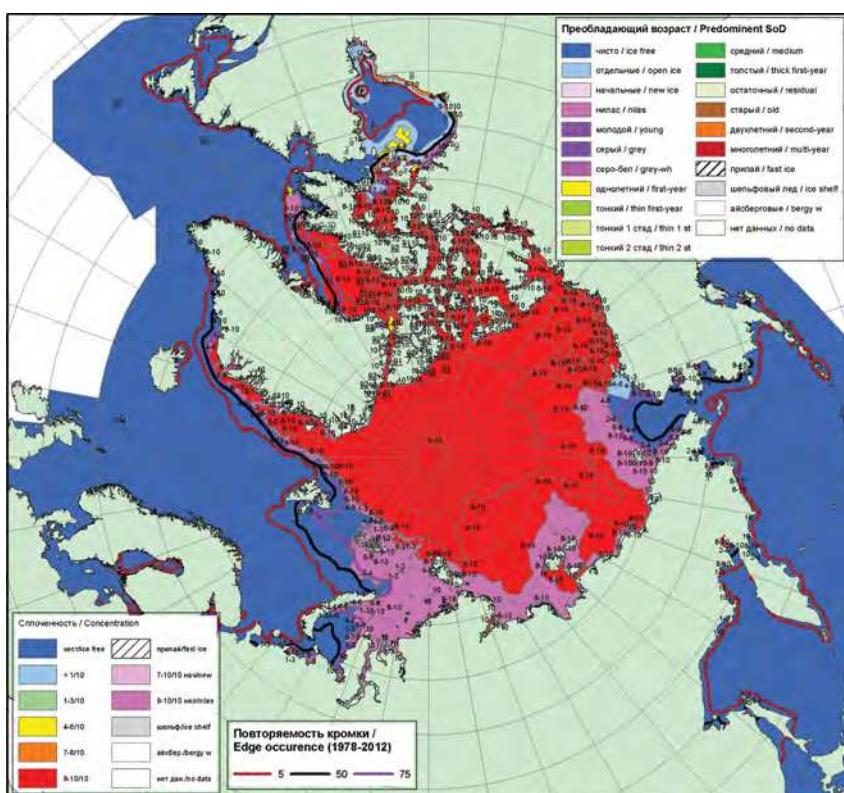


Рис. 2.4.5. Обзорная ледовая карта СЛО за 12—20 ноября 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

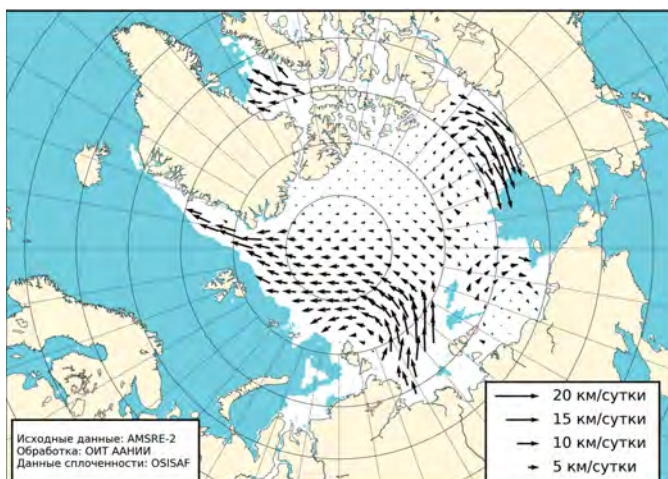


Рис. 2.4.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в ноябре 2018 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

Чукотского морей. Среди островов Канадского Арктического архипелага с начала ноября появился сплошной припай (рис. 2.4.5).

В ноябре наблюдалось хорошее развитие Трансарктического переноса, стрежень которого по сравнению с предыдущим месяцем переместился на запад. В результате смещения стрежня Трансарктического переноса к западу льды из моря Лаптевых и северо-восточной части Карского моря выносились в Гренландское море и в пролив Фрама.

Канадский антициклонический круговорот был развит слабо. Его центр, так же как и в октябре, располагался над северной частью моря Бофорта. В результате смещения центра круговорота лед по периферии круговорота выносился к северному побережью островов Канадского Арктического архипелага и далее в прибрежную часть моря Бофорта, где скорость дрейфа значительно увеличивалась (рис. 2.4.6).

В декабре продолжилось дальнейшее увеличение площади ледяного покрова и его толщины. Количество молодых льдов, появившихся в СЛО и его морях с середины ноября по середину декабря, составило около 1,4 млн км², что оказалось близким к среднему многолетнему значению (норма 1,3 млн км²). В декабре процесс увеличения площади ледяного покрова пришел в норму после экстремального развития в ноябре.

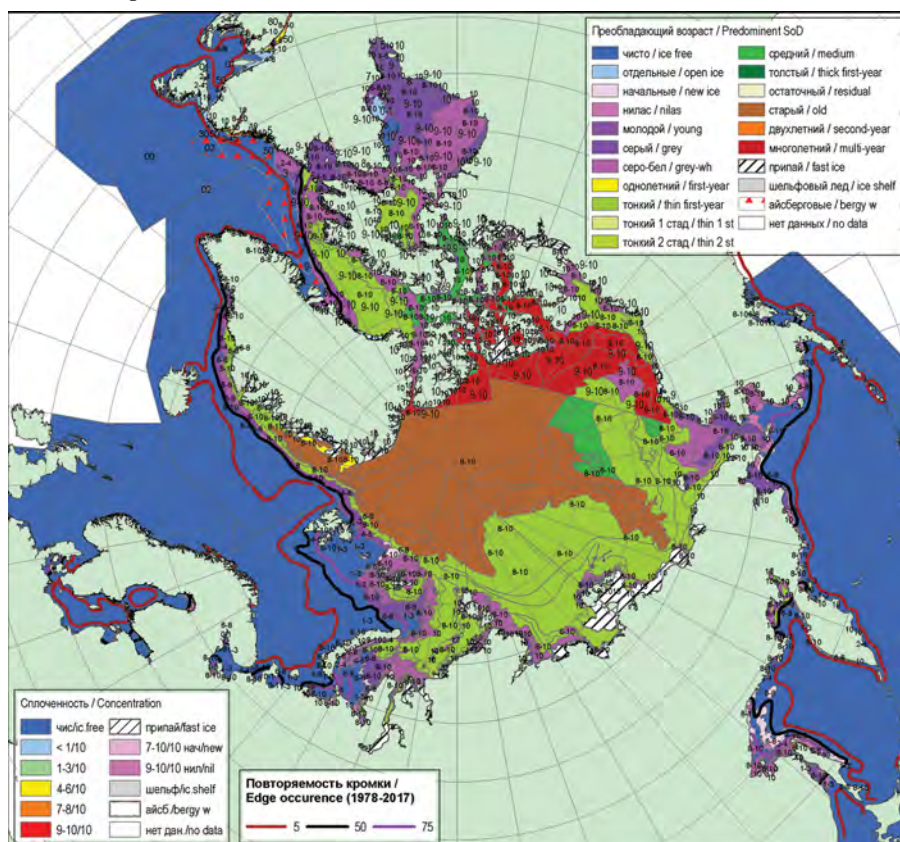


Рис. 2.4.7. Обзорная ледовая карта СЛО за 17—20 декабря 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США: распределение льда по возрасту.

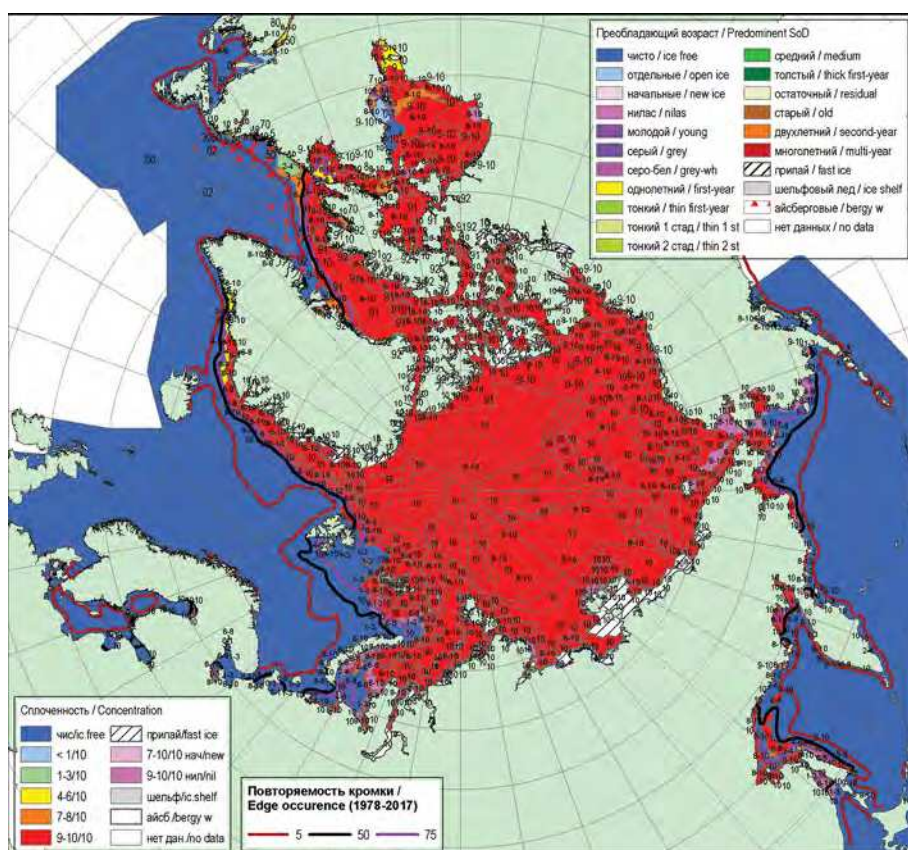


Рис. 2.4.8. Обзорная ледовая карта СЛО за 17—20 декабря 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США: распределение льда по сплоченности.

В середине декабря практически вся акватория Баренцева моря и юго-западная часть Карского моря еще оставались свободными от льдов. На акватории остальных арктических морей, начиная с северо-восточной части Карского моря и далее на восток, наблюдалось преобладание однолетнего среднего льда (диапазон толщины 70—120 см). В центральной части Восточно-Сибирского моря сохранялся обширный отрог старых и остаточных льдов (рис. 2.4.7).

По всей акватории СЛО и по акватории всех его морей за исключением Баренцева сформировалось однородное поле сплоченности льда 9—10 баллов. Обширных разрывов и разряжений в ледяном покрове не наблюдалось. Началось становление припая в районе Новосибирских островов. Обширный припай наблюдался также среди островов Канадского Арктического архипелага (рис. 2.4.8).

В поле дрейфа льда сформировалось несколько больших структур, отличающихся от традиционных.

Трансарктический перенос льда отсутствовал. Вместо него сформировался гигантский циклонический вихрь с центром над архипелагом Земля Франца-Иосифа. В результате действия этого обширного циклонического круговорота льды из морей Карского и Лаптевых выносило в Гренландское море и пролив Фрама.

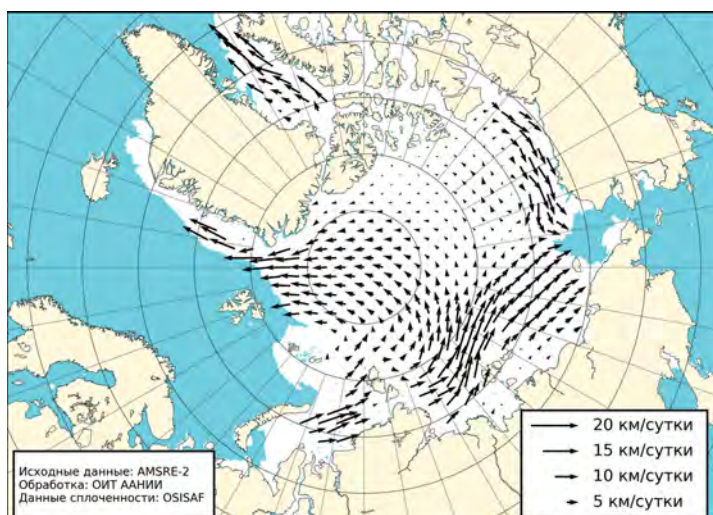


Рис. 2.4.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в декабре 2018 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

Непосредственно в арктических российских морях сформировался дрейф ледяного покрова восточного направления.

Канадский антициклонический круговорот был развит слабо. Его центр был смещен к северу островов Канадского Арктического архипелага. В результате смещения центра круговорота большое развитие получила периферийная ветвь круговорота от островов Канадского Арктического архипелага и далее в море Бофорта, где скорость дрейфа значительно увеличивалась (рис. 2.4.9).

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 2018 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 2018 г. составила 10,93 млн км² при норме 11,55 млн км², т.е. была на 5,3 % меньше средних многолетних значений.

Сезонный ход ледовитости в СЛО показывает, что общее количество льдов в течение всего года было устойчиво меньше средних многолетних значений «длинного ряда» наблюдений (1978—2018 гг.). Однако в летний период общая площадь льдов существенно (на 0,2—1,1 млн км²) превышала ледовитость, наблюдавшуюся в аномально легких 2012 и 2016 гг., и на 22 тыс. км² превышала среднее значение «короткого ряда» (ряда наблюдений за последнее «теплое» десятилетие 2008—2017 гг.), став, таким образом, шестой по рангу в группе легких лет.

Развитие ледовых условий в разных секторах и в разные сезоны года выявило интересные особенности, проявившиеся в 2018 г. Основной вклад в формирование легких ледовых условий в течение всего года вносили моря западного меридионального сектора 95° в.д. — 170° з.д. (моря Гренландское, Баренцево, Карское) (рис. 2.4.10).

Тенденция развития ледовых условий, наблюдавшаяся в последние несколько лет, в 2018 г. сохранилась. После аномально легких ледовых условий в 2012 г.

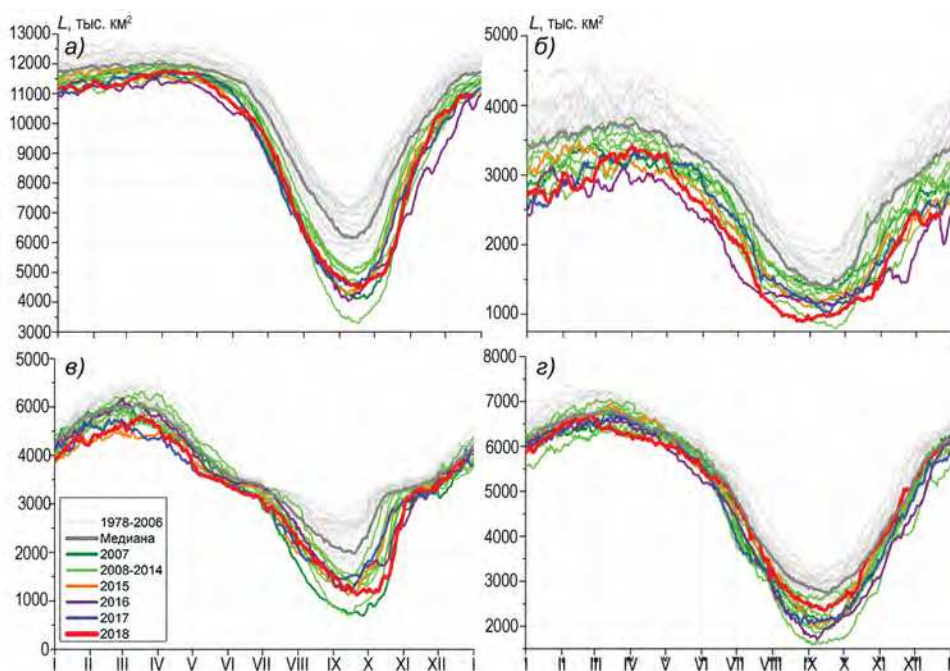


Рис. 2.4.10. Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и трех меридиональных секторов за период 26 октября 1978 г. — 26 декабря 2018 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR — SSM/I — SSMIS — AMSR2.

- а) Северный Ледовитый океан; 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).

в последующие шесть лет наблюдалось развитие умеренно малой ледовитости (на 5—10 % меньше средних многолетних значений) в течение всего года, кроме летнего периода. В летний период происходило значительное сокращение ледовитости и формировались аномально легкие ледовые условия (аномалия ледовитости была на 20—25 % меньше средних многолетних значений).

2.5. ЛЕДОВО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ 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 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

Наращение льда в зимне-весенний период

Наибольшее увеличение толщины льда на устьевых участках рек бассейна Карского моря наблюдалось: на реке Таз и Енисее (п. Игарка) в январе, на реке Оби

в марте, на реке Енисее (п. Дудинка) в апреле и на реке Енисе (п. Караул) в январе и феврале. В апреле нарастание льда продолжалось на всех реках, кроме реки Оби. На реке Енисее (п. Игарка) в марте и апреле нарастание льда было незначительным.

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

Таблица 2.5.1

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

Река	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обь	Салехард	53	+16	64	+11	83	+19	83	0
Таз	Тазовское	69	+15	81	+12	88	+7	99	+11
Енисей	Игарка	76	+27	91	+15	91	0	92	+1
	Дудинка	78	+21	89	+11	105	+16	141	+36
	Караул	66	+13	79	+13	90	+11	96	+6

В табл. 2.5.2 приведены аномалии толщины льда по вышеуказанным пунктам на конец апреля, т.е. в период, близкий к максимальному нарастанию льда. На реках Оби и Енисее (п. Дудинка) толщина льда превышала средние многолетние значения на 10—24 см, а на реках Таз и Енисее (п. Игарка и Караул) была меньше средних многолетних на 7—28 см.

Таблица 2.5.2

Толщина льда и ее аномалия на конец апреля на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина, см		
		2018 г.	Средняя	Аномалия
Обь	83	101	–18	+10
Таз	99	133	–34	–28
Енисей	92	97	–5	–7
	141	131	+10	+24
	96	135	–39	–22

В конце апреля высота снега на льду составляла от 26—35 до 51—70 см.

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 его нарастание (ΔH) от месяца к месяцу
на устьевых взморьях рек Оби и Енисея**

Устьевое взморье	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обская губа	Новый Порт	73	+27	101	+28	118	+17	130	+12
Енисейский залив	Сопочная	87	+21	103	+16	119	+16	129	+10
	Карга								

Наибольшее нарастание толщины льда в Енисейском заливе наблюдалось в январе, а в Обской губе — в феврале.

В табл. 2.5.4 приведены аномалии толщины льда на устьевом взморье рек Оби и Енисея на конец апреля, т. е. в период, близкий к максимальному нарастанию льда.

Таблица 2.5.4

Толщина льда и ее аномалия на конец апреля на устьевых взморьях рек Оби и Енисея

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2018 г.	Среднее	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	130	141	–11
Енисейский залив	Сопочная Карга	129	164	–35

Толщина льда в конце апреля на устьевом взморье рек Оби и Енисея была меньше среднего многолетнего значения на 11—35 см.

Высота снега на льду в конце апреля составила 15—19 см в п. Сопочная Карга и 40—49 см в п. Новый Порт.

Характеристика процесса вскрытия

Признаком начала разрушения льда весной является образование закраин. Закраины на устьевых участках рек бассейна Карского моря появились в следующие сроки: на реках Оби и Енисее в третьей декаде мая, на реке Таз в первой декаде июня. С 30 мая по 12 июня на устьевых участках рек бассейна Карского моря наблюдались подвижки льда. Заторов льда не отмечались.

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.

Таблица 2.5.5

Сроки вскрытия и очищения на устьевых участках рек

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь	Салехард	4 VI	25 V	+10	10 VI	30 V	+11
Таз	Тазовское	13 VI	10 VI	+3	15 VI	12 VI	+3
Енисей	Игарка	31 V	27 VI	+4	4 VI	5 VI	–1
	Дудинка	7 VI	3 VI	+4	14 VI	11 VI	+3
	Караул	11 VI	8 VI	+3	15 VI	18 VI	–3

Весенний ледоход на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисея начался на 3—10 дней позже средних многолетних сроков. Продолжительность весеннего ледохода составила на реках Оби и Таз 2—6 дней, на реке Енисее 4—7 дней.

Очищение от льда устьевого участка реки Оби отмечалось позже средних многолетних сроков на 11 дней, устьевых участков рек Таз и Енисея — в сроки, близкие к средним многолетним.

В табл. 2.5.6 приведены сроки взлома припая и очищения от льда, а также аномалии по отношению к средним многолетним срокам 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		
			2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Взлом припая	20 VI	18 VI	+2
		Очищение от льда	26 VI	27 VI	–1
Енисейский залив	Сопочная Карга	Взлом припая	17 VI	20 VI	–3
		Очищение от льда	19 VI	26 VI	–7

Взлом припая на устьевых взморьях рек Оби и Енисея произошел в сроки, близкие к средним многолетним. Очищение от льда отмечалось на 1—7 дней раньше средних многолетних дат.

Продолжительность ледохода составила два дня в Енисейском заливе и шесть дней в Обской губе.

Характеристика процесса замерзания

Замерзание крупных рек бассейна Карского моря часто начинается с появления заберегов. В 2018 г. появление заберегов зафиксировано позже среднемноголетних сроков на 6—13 дней. Устойчивое появление плавучего льда произошло позже средних многолетних сроков на 2—17 дней. Сроки становления ледостава во всех пунктах также отмечены позже среднемноголетних на 10—14 дней. Продолжительность периода с плавучим льдом составила от 0—3 дней на реках Таз и Енисее до 16 дней на реке Оби.

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

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		
	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2018 г.	Средняя	Аномалия, сут	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь, Салехард	30 X	18 X	+12	25 X	23 X	+2	9 XI	29 X	+11
Таз, Тазовское	23 X	10 X	+13	23 X	12 X	+11	24 X	14 X	+10
Енисей, Игарка	–	16 X	–	1 XI	16 X	+16	4 XI	21 X	+14
Енисей, Дудинка	–	12 X	–	3 XI	17 X	+17	3 XI	24 X	+10
Енисей, Караул	18 X	12 X	+6	4 XI	19 X	+16	4 XI	21 X	+14

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

Сроки наступления ледовых явлений на устьевых взморьях рек Оби и Енисея

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Устойчивое появление плавучего льда	20 X	11 X	+9
		Полное замерзание	8 XI	17 X	+22
Енисейский залив	Сопочная Карга	Устойчивое появление плавучего льда	21 X	11 X	+10
		Полное замерзание	7 XI	22 X	+16

На устьевом взморье появление плавучего льда и полное замерзание происходило на 9—10 и 16—22 дня позже среднемноголетних дат соответственно. Продолжительность периода с плавающим льдом составила 17—19 дней.

Наращение льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.9 приведены данные об увеличении толщины льда за ноябрь — декабрь, а в таблице 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 его нарастание (ΔH) в осенне-зимний период на устьевых участках рек

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обь	Салехард	—	37	+37	55	+18
Таз	Тазовское	—	40	+40	56	+16
Енисей	Игарка	—	31	+31	63	+32
	Дудинка	—	33	+33	71	+38
	Караул	—	30	+30	45	+15

Наибольшее нарастание льда с момента начала ледообразования на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисея (п. Караул) наблюдалось в ноябре. На реке Енисее (п. Игарка и Дудинка) — в декабре.

Таблица 2.5.10

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2018 г.	Среднее	Аномалия
Обь	Салехард	55	64	–9
Таз	Тазовское	56	78	–22
Енисей	Игарка	63	59	+4
	Дудинка	71	73	–2
	Караул	45	88	–43

Толщина льда в конце декабря 2017 г. на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисея была меньше средних многолетних значений на 10—35 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от 16 см (п. Салехард) до 50 см (п. Игарка).

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.

Таблица 2.5.11

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

Устьевое взморье	Пункт	30 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обская губа	Новый Порт	—	31	+31	60	+29
Енисейский залив	Сопочная Карга	—	52	+52	72	+20

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		
		2018 г.	Средняя	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	60	79	–19
Енисейский залив	Сопочная Карга	72	99	–27

В осенне-зимний период наибольшее нарастание льда на устьевых взморьях рек Обь и Енисей было отмечено в ноябре (с момента начала ледообразования).

Толщина льда в конце декабря 2018 г. на устьевом взморье рек Оби и Енисея была меньше средних многолетних значений на 19—27 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря не отмечена.

Ледово-гидрологические условия

на устьевых участках крупных рек бассейна моря Лаптевых

Нарастание льда в зимне-весенний период

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

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

Таблица 2.5.13

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

Река, пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Хатанга, Хатанга	127	+48	145	+18	151	+6	140	–11
Оленёк, Тюмети	79	+19	90	+11	102	+12	108	+6
Оленёк, Усть-Оленёк	174	+41	193	+19	199	+6	203	+4
Лена, Кюсюр	140	+40	161	+21	166	+5	166	0
Лена, Хабарово	123	+30	159	+36	186	+27	214	+28
Яна, Юбилейная	84	+24	102	+22	128	+22	147	+19

В табл. 2.5.14 приведены аномалии толщины льда на конец апреля, т.е. в период, близкий к максимальному нарастанию льда.

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2018 г.	Среднее	Аномалия
Хатанга	Хатанга	140	151	–11
Оленёк	Тюмети	108	137	–29
	Усть-Оленёк	203	190	+13
Лена	Кюсюр	166	173	–7
	Хабарово	214	224	–10
Яна	Юбилейная	147	150	–3

Толщины льда в апреле были меньше среднемноголетних значений: от 3 см в устьевой части реки Яна до 29 см в устье реки Оленёк (п. Тюмети). На реке Оленёк (п. Усть-Оленёк) толщина льда отмечена больше среднемноголетней на 13 см.

Высота снега на льду в конце апреля составляла от 16—20 см до 36—50 см.

Характеристика процесса вскрытия

В 2018 г. на большинстве устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых появление закраин было отмечено в третьей декаде мая. На реках Яне и Оленёк (п. Тюмети) закраины не наблюдались. Процесс вскрытия на реках Хатанге и Оленёк (п. Тюмети) сопровождался образованием заторов 4—5 июня и 28 мая соответственно.

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

Таблица 2.5.15

Сроки вскрытия и очищения устьевых участков рек

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга	Хатанга	4 VI	11 VI	–7	7 VI	16 VI	–9
Оленёк	Тюмети	28 V	1 VI	–4	6 VI	12 VI	–6
	Усть-Оленёк	7 VI	15 VI	–8	11 VI	19 VI	–8
Лена	Кюсюр	30 V	31 V	–1	9 VI	9 VI	0
	Хабарово	4 VI	6 VI	–2	10 VI	12 VI	–2
Яна	Юбилейная	29 V	29 V	0	4 VI	5 VI	–1

Весенний ледоход на устьевых участках рек Хатанги и Оленёк начался на 4—8 дней раньше средних многолетних сроков, а на реках Лене и Яне — в сроки, близкие к средним многолетним.

Продолжительность ледохода на реках составила: Хатанга — 3 дня, Оленёк — от 4 до 9 дней, Лена и Яна — от 6 до 10 дней.

Очищение от льда устьевых участков рек Лены и Яны произошло в сроки, близкие к средним многолетним. Реки Хатанга и Оленёк очистились на 6—9 дней раньше средних многолетних сроков.

Характеристика процесса замерзания

Появление заберегов на устьевых участках рек моря Лаптевых началось позже средних многолетних сроков на 3—14 дней.

В табл. 2.5.16 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений на устьевых участках рек Хатанги, Оленёк, Лены и Яны 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 плавающего льда			Дата ледостава		
	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга, Хатанга	–	–	–	19 X	2 X	+17	21 X	4 X	+17
Оленёк, Тюмети	30 IX	27 IX	+3	15 X	30 IX	+15	21 X	9 X	+12
Оленёк, Усть-Оленёк	14 X	2 X	+12	6 X	1 X	+5	17 X	5 X	+12
Лена, Кюсюр	18 X	8 X	+10	21 X	8 X	+13	6 XI	22 X	+15
Быковская протока	22 X	8 X	+14	22 X	11 X	+11	29 X	18 X	+11
р. Лены, Хабарово									
Яна, Юбилейная	10 X	28 IX	+12	8 X	30 IX	+8	13 X	5 X	+8

Устойчивое появление плавающего льда и ледостав осенью 2018 г. были отмечены позже средних многолетних сроков на 5—17 и 8—17 дней соответственно.

Продолжительность периода с плавающим льдом составила от 3—5 дней на реке Хатанге и Яне до 6—16 дней на реках Лене и Оленёк.

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 — о толщине льда и ее аномалии на конец декабря.

Таблица 2.5.17

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

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Хатанга	Хатанга	20	53	+33	99	+46
Оленёк	Тюмети	–	56	+56	89	+33
	Усть-Оленёк	29	80	+51	118	+38
Лена	Кюсюр	–	50	+50	84	+34
	Хабарово	–	48	+48	113	+65
Яна	Юбилейная	17	42	+25	65	+23

В осенне-зимний период наибольшее нарастание льда с момента начала ле-дообразования на устьевых участках рек Яна, Оленёк, Лена (п. Кюсюр) отмечено в ноябре. На устьевом участке реки Лена (п. Хабарово) и на реке Хатанга наибольшее нарастание отмечено в декабре.

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2018 г.	Средняя	Аномалия
Хатанга	Хатанга	99	92	+7
Оленёк	Тюмети	89	83	+6
Оленёк	Усть-Оленёк	118	100	+18
Лена	Кюсюр	84	85	–1
Лена	Хабарово	113	123	–10
Яна	Юбилейная	65	76	–11

На устьевых участках рек Оленёк и Хатанги толщина льда в конце декабря на 6—18 см превышала средние многолетние значения, а на участке рек Лены и Яны была на 1—11 см меньше.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составляла менее 5 см.

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

Нарастание льда в зимне-весенний период

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

Таблица 2.5.19

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

Река	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Инди́гирка	Чокурдах	107	+22	124	+17	135	+11	140	+5
Колы́ма	Колымское	79	–	95	+16	101	+6	99	–2
	Черский	69	+14	84	+15	88	+4	100	+12

Максимальное нарастание льда на реке Индигирке наблюдалось в январе, на реке Колыме (п. Черский) — в феврале. Нарастание льда продолжалось до конца апреля повсюду, кроме пункта Колымское, где в апреле отмечено таяние.

В табл. 2.5.20 приведены значения толщины льда и их аномалии на конец апреля — период, близкий к максимальному нарастанию льда.

Таблица 2.5.20

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках крупных рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2018 г.	Среднее	Аномалия
Инди́гирка	Чокурдах	140	163	–23
Колы́ма	Колымское	99	140	–41
	Черский	100	139	–39

В конце апреля на устьевых участках рек Индигирки и Колымы толщина льда повсеместно была меньше средних многолетних значений на 23—41 см. Высота

снега на льду в конце апреля на реке Колыме (п. Черский) составила 26—35 см. Снег на льду на реке Хатанге отсутствовал.

Характеристика процесса вскрытия

Закраины на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря отмечены в третьей декаде мая. Подвижки отмечались на реке Колыме (п. Колымское) в третьей декаде мая, на реке Индигирке в первой декаде июня. Затопы не отмечались.

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		
		2018 г.	Средняя	Аномалия, сут	2018 г.	Средняя	Аномалия, сут
Индигирка	Чокурдах	9 VI	6 VI	+3	11 VI	9 VI	+2
Колыма	Колымское	31 V	29 V	+2	6 VI	4 VI	+2
	Черский	3 VI	2 VI	+1	7 VI	7 VI	0

Весенний ледоход и очищение от льда в устьевых областях рек Восточно-Сибирского моря начались в сроки, близкие к средним многолетним.

Продолжительность ледохода составила два дня в устьевой части реки Индигирки и 4—6 дней в устьевой части реки Колымы.

Характеристика процесса замерзания

В табл. 2.5.22 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений в 2018 г. и их аномалии.

Таблица 2.5.22

Характеристика ледовых условий в осенний период на устьевых участках рек

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Индигирка, Чокурдах	9 X	3 X	+6	9 X	5 X	+4	13 X	9 X	+4
Колыма, Колымское	16 X	6 X	+10	12 X	8 X	+4	23 X	12 X	+11
Колыма, Черский	12 X	6 X	+6	12 X	7 X	+5	19 X	10 X	+9

Появление плавучего льда и становление ледостава на устьевых участках рек Индигирки и Колымы отмечалось на 6—10 и 8—11 дней позже средних многолетних дат соответственно.

Продолжительность периода с плавучим льдом составила 2—8 дней.

Нарастание льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.23 приведены данные об увеличении толщины 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 (ΔH) от месяца к месяцу в осенне-зимний период на устьевых участках рек

Река	Пункт	31 октября		30 ноября		31 декабря	
		H см	ΔH см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Индигирка	Чокурдах	19	67	+48	90	+23	20
Колыма	Колымское	—	—	—	—	—	21
	Черский	11	30	+19	56	+26	27

Максимальное нарастание толщины льда на устьевом участке реки Индигирки (с момента начала ледообразования) отмечено в ноябре, на реке Колыме (п. Черский) — в декабре.

Таблица 2.5.24

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2018 г.	Среднее	Аномалия
Индигирка	Чокурдах	90	91	–1
Колыма	Колымское	—	—	—
	Черский	56	69	–13

В конце декабря толщина льда на устьевых участках рек Индигирки и Колымы была на 1—13 см меньше средних многолетних значений.

Высота снега на льду на конец декабря составляла 2—5 см.

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

3.1. ТЕРМОХАЛИННЫЕ УСЛОВИЯ

Анализ термохалинного состояния вод Северного Ледовитого океана (СЛО) в 2018 г. выполнен на основании данных отечественных и зарубежных источников, пополнявших базу данных термохалинных характеристик (БДТХ) отдела океанологии ААНИИ. В БДТХ была загружена информация, полученная с помощью автономных дрейфующих комплексов ИТР (Ice-Tethered Profiler), в морских научно-исследовательских рейсах на НИС «Профессор Молчанов» и НЭС «Академик Трёшников» и в ходе реализации морских наблюдений на океанологическом полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген и в проливе Шокальского (научно-исследовательский стационар «Ледовая база Мыс Баранова» (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 2018 г. и загруженных
в БДТХ отдела океанологии ААНИИ**

№ п/п	Экспедиция/платформа	Дата станции		Число станций
		первой	последней	
1	ИТР 95	01.01.2018	06.01.2018	20
2	ИТР 101	01.01.2018	26.03.2018	170
3	ИТР 103	02.10.2018	18.11.2018	856
4	ИТР 104	05.10.2018	31.12.2018	1653
5	ИТР 105	07.10.2018	31.12.2018	1612
6	ИТР 107	18.09.2018	31.12.2018	209
7	ИТР 108	01.01.2018	08.09.2018	792
8	ИТР 109	21.09.2018	15.12.2018	170
9	ИТР 110	20.09.2018	31.12.2018	205
10	Океанологический полигон Российского научного центра на арх. Шпицберген (РНЦШ)	01.03.2018	31.09.2018	53
11	Научно-исследовательский стационар «Ледовая база Мыс Баранова»	01.12.2017	15.06.2018	361
12	Арктический плавучий университет (АПУ) на НИС «Профессор Молчанов»	12.07.2017	23.07.2018	65
13	«Арктика-2018» на НЭС «Академик Трёшников»	22.08.2018	24.09.2017	145

Большая часть океанографической информации в 2018 г. была получена на акватории глубоководной части СЛО с помощью девяти ИТР буев, оснащенных профилогами, которые обеспечивали непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760-метрового слоя вод.

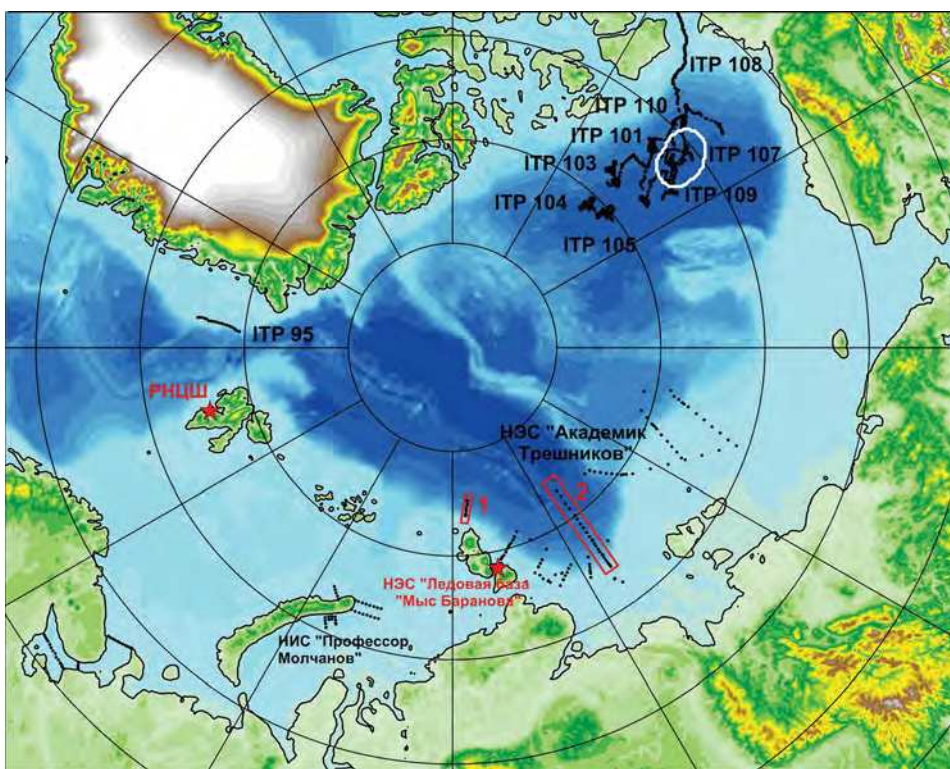


Рис. 3.1.1. Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО в 2018 г.

Красными прямоугольниками и цифрами отмечены океанологические разрезы и их номера соответственно.

Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО в 2018 г. был осуществлен анализ вертикального распределения температуры и солёности в предварительно выделенной группе океанографических станций: ИТР 108 в Канадской глубоководной котловине (см. рис. 3.1.1). По данным выделенной группы станций рассчитывались основные статистические характеристики (среднее, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения) вертикальных профилей температуры и солёности. При дальнейшем анализе полученные статистические характеристики сравнивались с климатическими средними и их стандартными отклонениями, рассчитанными по всем имеющимся в БДТХ океанографическим данным в период с 1900 по 2000 г. для этого же района. Область поиска исторических данных (см. рис. 3.1.1, белые контуры) была на 50—100 км шире по сравнению с областью расположения океанографических станций, используемых для анализа в 2018 г.

Амеразийский суббассейн

В 2018 г. распределение термохалинных характеристик по глубине в Канадской глубоководной котловине по данным ИТР 108 демонстрировало наблюдающееся на протяжении последних нескольких лет аномальное состояние водных масс относительно среднего климатического.

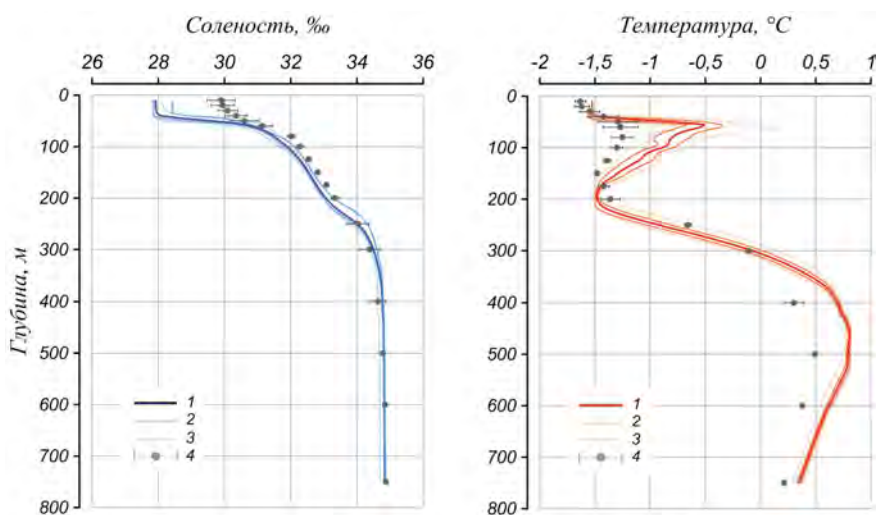


Рис. 3.1.2. Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в период январь — март 2018 г. по результатам измерений профилографа ГР 108.

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 СЛЮ отдела океанологии АНИИ за соответствующий сезон в период январь — март с 1900 по 2000 г.

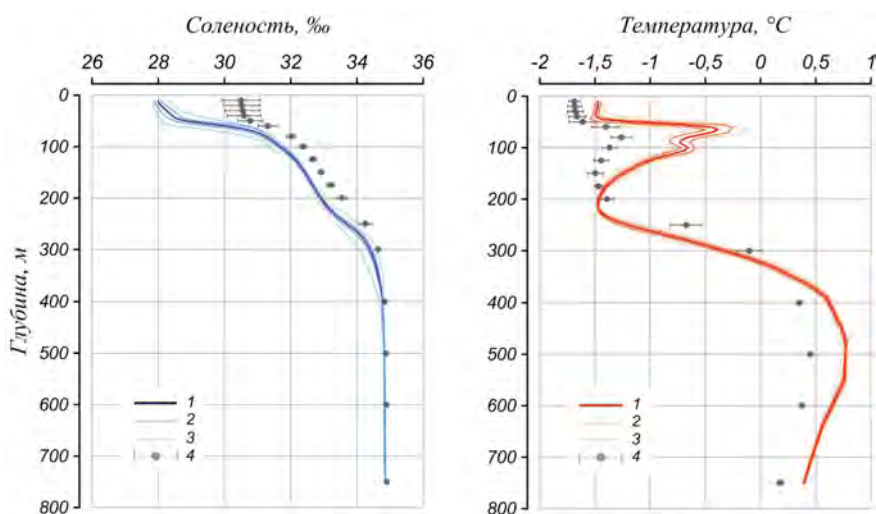


Рис. 3.1.3. Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в период апрель — июнь 2018 г. по результатам измерений профилографа ГР 108.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

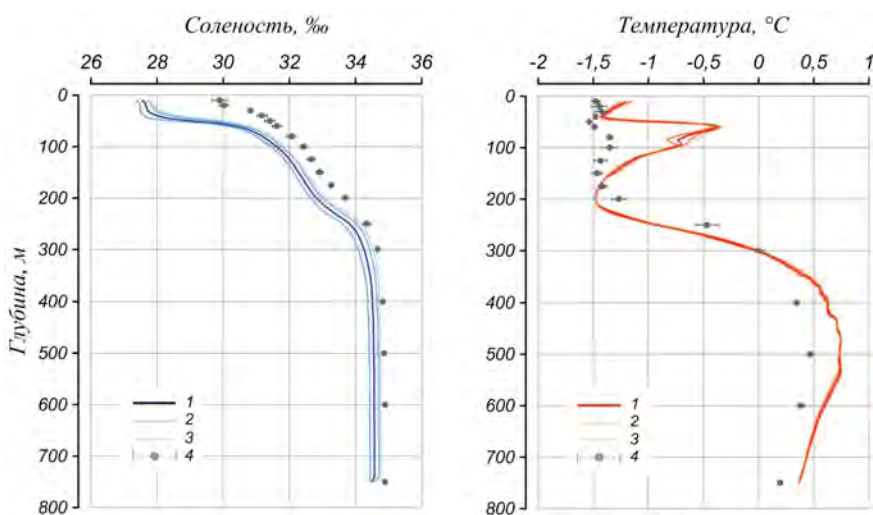


Рис. 3.1.4. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в августе 2018 г. по результатам измерений профилографа ИТР 108.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

В первом квартале 2018 г. поверхностный слой был существенно распреснен (27,9 ‰) по сравнению с климатической нормой (29,9 ‰). Значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя составило $-2,0$ ‰ (рис. 3.1.2). В аналогичный период 2017 и 2016 гг. аномалия солёности поверхностного слоя составила $-3,1$ и $-2,3$ ‰ соответственно. Температура верхнего перемешанного слоя составляла около $-1,5$ °C и незначительно превышала климатическое среднее ($-1,63$ °C) вследствие повышения температуры замерзания воды из-за наличия распресненного слоя.

Во втором квартале 2018 г. значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя составило $-2,5$ ‰ (рис. 3.1.3), что на $0,4$ ‰ больше по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Температура верхнего перемешанного слоя, как и в первом квартале, составляла около $-1,5$ °C.

В третьем квартале 2018 г. значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя составило $-2,3$ ‰ (рис. 3.1.4). В аналогичный период 2017 и 2015 гг. аномалия солёности поверхностного слоя составила $-1,5$ и $-2,3$ ‰ соответственно. Температура верхнего перемешанного слоя составляла около $-1,2$ °C и незначительно превышала климатическое среднее ($-1,48$ °C) вследствие повышения температуры замерзания воды из-за наличия распресненного слоя.

Под верхним перемешанным слоем на глубине более 45 м расположен слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), который является характерной особенностью Американо-Тихоокеанского суббассейна СЛО. Для этого слоя характерно наличие промежуточного максимума температуры воды в слое с солёностью от 31 до 33 ‰. Наибольшие значения температуры ЛТВ составили $-0,37$ °C (см. рис. 3.1.2 — 3.1.4), превышая климатическую норму на $1,0$ °C. В 2017 г. аномалия температуры ЛТВ была больше и составила $1,2$ °C.

Так же как и в предыдущие годы, отмечалось большая глубина залегания нижней границы ЛТВ (160—180 м) по сравнению с климатическими данными (110—130 м).

На глубине от 170 до 210 м в Канадской глубоководной котловине залегают так называемые зимние тихоокеанские воды, затекающие через Берингов пролив и смешивающиеся с водами Чукотского моря в холодный период. Эти воды в Арктическом бассейне характеризуются низкими значениями температуры и значением солёности, равным 33,1 ‰, наблюдаемым в ядре данной прослойки.

Характерной особенностью последних лет является заглубление ядра зимних тихоокеанских вод. По данным ИТР 108 ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 180—200 м, в то время как среднее климатическое значение составляет 150 м. На глубине более 210 м в Канадской глубоководной котловине наблюдается постепенное повышение температуры воды, обусловленное теплоотдачей атлантической водной массы (АВ). Верхняя граница данной прослойки (0 °C) в 2018 г. располагалась на глубине 300—325 м. Максимальное значение температуры воды в ядре АВ составило 0,8 °C, т. е. было на 0,3 °C выше климатической нормы (см. рис. 3.1.2 — 3.1.4). Полученные оценки аномалий температуры АВ в 2018 г. практически полностью соответствуют значениям за предшествующие годы, что свидетельствует об отсутствии как положительного, так и отрицательного тренда температуры АВ в СЛО.

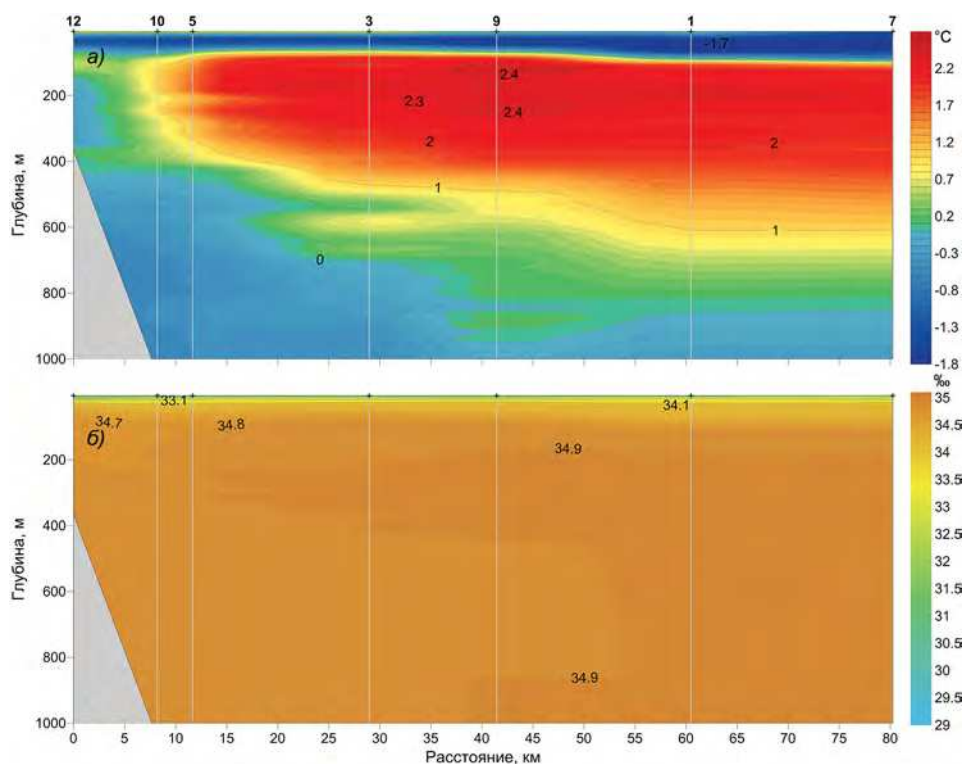


Рис. 3.1.5. Распределение температуры (а) и солёности (б) на разрезе № 1 к северу от мыса Арктического.

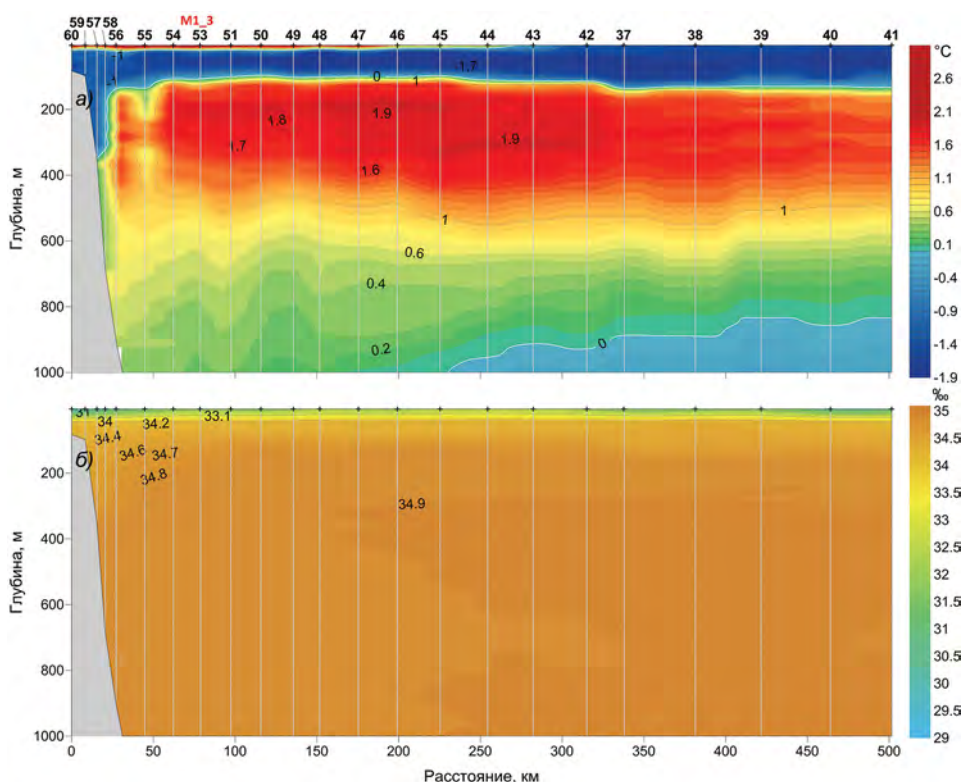


Рис. 3.1.6. Распределение температуры (а) и солёности (б) на разрезе № 2 вдоль меридиана 126° в.д.

В ходе экспедиции «Арктика-2018» на НЭС «Академик Трёшников» была выполнена серия разрезов поперек континентального склона моря Лаптевых, пересекающих основную струю АВ (см. рис. 3.1.1).

Океанографический разрез № 1 был выполнен в северном направлении от мыса Арктический (архипелаг Северная Земля) поперек распространения основной струи АВ. Наибольшая температуры воды поверхностного слоя была зафиксирована в южной части разреза и составила 1 °C (рис. 3.1.5), превысив среднее значение на 2 °C. В северной части разреза температура поверхностного слоя составила –1,5 °C.

На глубине более 60 м в южной части разреза и 90 м в северной части разреза залегает слой АВ. Максимальная толщина слоя АВ составила почти 900 м и наблюдалась на станции № 9. Наибольшие значения температуры в слое АВ также наблюдались на станции № 9 и достигали 2,58 °C на глубине 110—120 м. Наибольший горизонтальный градиент температуры наблюдался между станциями № 10 и № 5 и составил 1,6 °C. На самой южной станции разреза температура АВМ достигла максимума (0,61 °C) на горизонте 100 м, а мощность теплого слоя составила всего 70 м.

Океанографический разрез № 2 был выполнен в центральной части моря Лаптевых вдоль меридиана 126° в.д. Наибольшая температура поверхностного слоя была зафиксирована в южной части разреза и составила 5,7 °C, превысив климатическое среднее на 3,1 °C (рис. 3.1.6). Значения солёности поверхностного слоя в

этом районе составили менее 30 %, что объясняется влиянием речного стока. В районе станции № 56 было обнаружено хорошо локализованное ядро АВМ с максимальной температурой 1,82 °С на глубине 230 м. Севернее станции № 54 на разрезе залегает слой АВМ с максимумом температуры на горизонте 200 м, равным 2 °С, что превышает среднее климатическое значение на 1,0 °С.

Выводы

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2018 г., гидрологический режим СЛО продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему. Распределение солёности поверхностного слоя характеризуется наличием выраженной ее отрицательной аномалии (–2,0...–2,3 ‰) в Амеразийском суббассейне. Отсутствие данных наблюдений не позволяет оценить межгодовую изменчивость солёности поверхностного слоя в котловине Нансена.

Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод, значение которой в 2018 г. составило 0,3 °С.

Так же как и АВ, летние тихоокеанские воды в Амеразийском суббассейне характеризовались повышенными значениями температуры, превышающими климатическую норму на 0,7—1,0 °С, что несколько ниже значений за 2017 г. (1,2—1,5 °С).

Полученные оценки аномалии температуры АВ в Амеразийском суббассейне СЛО в 2018 г. практически полностью соответствуют значениям, полученным в предшествующий, 2017 г.

По данным экспедиции «Арктика-2018» в центральной части моря Лаптевых температура поверхностного слоя воды (5,7 °С) превышала климатическое среднее на 3,1 °С. В свою очередь, температура АВ достигла наибольшего значения (2 °С) на горизонте 200 м, превысив среднее климатическое значение на 1,0 °С.

3.2. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

В 2018 г. гидрохимические данные о содержании растворенного кислорода, pH и общей щелочности были получены в экспедиции «Арктика-2018», проводившейся на борту НЭС «Академик Трёшников» с 17 августа по 29 сентября 2018 г. Работы производились в северо-западной и центральной частях моря Лаптевых, на шельфовом склоне Восточно-Сибирского моря и в районе котловины Подводников. После обработки проб воды будет получена информация о содержании биогенных элементов в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском и в районе котловины Подводников. Наблюдения включают 306 определений содержания растворенного кислорода, 261 определение pH и общей щелочности на 33 океанографических станциях (рис. 3.2.1). Отобрано 475 проб для определения биогенных элементов.

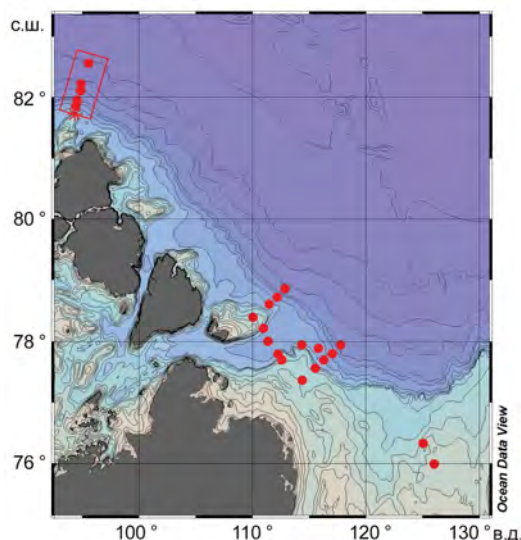


Рис. 3.2.1. Схема станций, выполненных в ходе экспедиции «Арктика-2018» в море Лаптевых, на которых производился отбор проб воды.

Концентрация растворенного кислорода (РК) является базовым параметром морской среды, позволяющим картировать водные массы и количественно описывать биогеохимические процессы.

На разрезе поперек материкового склона к северу от мыса Арктического у склона на горизонтах ниже слоя атлантической воды (200 м) до глубины 1500 м располагается водная масса с повышенным относительно окружающих вод содержанием растворенного кислорода (320—335 мкмоль/л) (рис. 3.2.2). Вероятнее всего, это связано с притоком со стороны Карского моря трансформированной баренцевоморской ветви атлантической воды, сползающей по склону или проникающей через желоб Воронина и взаимодействующей с ядром атлантических вод. Температура этих вод достаточно низкая ($-0,2 \dots -0,6$ °C). Отмечается также несколько пониженное значение pH (8,05—8,04), что свидетельствует происходящих в этом районе окислительных процессах. Пониженные относительно океанских вод значения общей щелочности (2,4—2,5 ммоль/л) говорят о влиянии на формирование этих вод речного стока и таяния льдов, что также свидетельствует об их пребывании на шельфе.

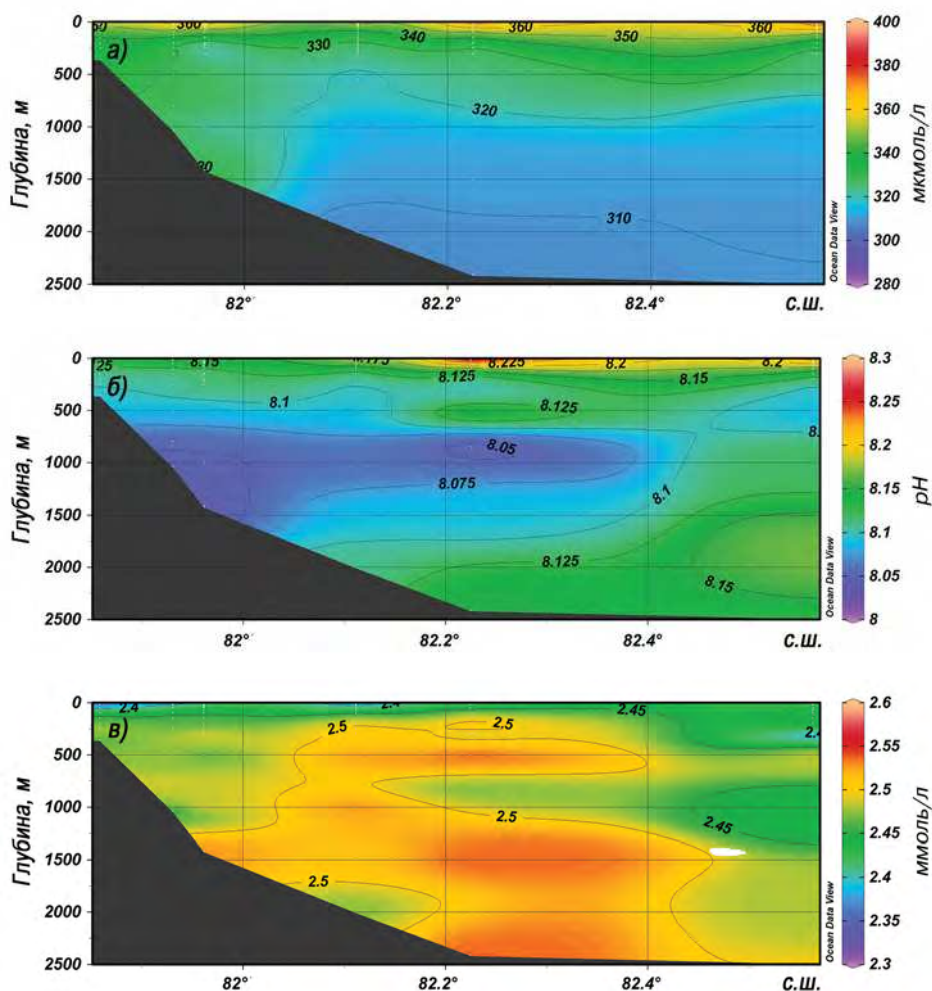


Рис. 3.2.2. Распределение содержания растворенного кислорода (а), pH (б) и общей щелочности (в) на разрезе поперек шельфового склона к северу от арх. Северная Земля.

Водородный показатель pH является мерой концентрации протонов в воде и позволяет определять некоторые черты и направление базовых биогеохимических процессов. Вместе с измерениями общей щелочности pH позволяет рассчитывать элементы карбонатной системы, которая является частью глобального цикла углерода.

При фотосинтезе фитопланктон поглощает гидрокарбонат-ионы из морской воды, в результате чего равновесие смещается в щелочную сторону — pH увеличивается (рис. 3.2.3). Буферные свойства морской воды позволяют достаточно быстро возвращать систему в состояние равновесия. Повышенные значения pH в слое 15—25 м к северу от мыса Арктического свидетельствуют об активных процессах фотосинтеза и образования органического вещества. Это согласуется с повышением содержания растворенного кислорода и флуоресценции хлорофилла.

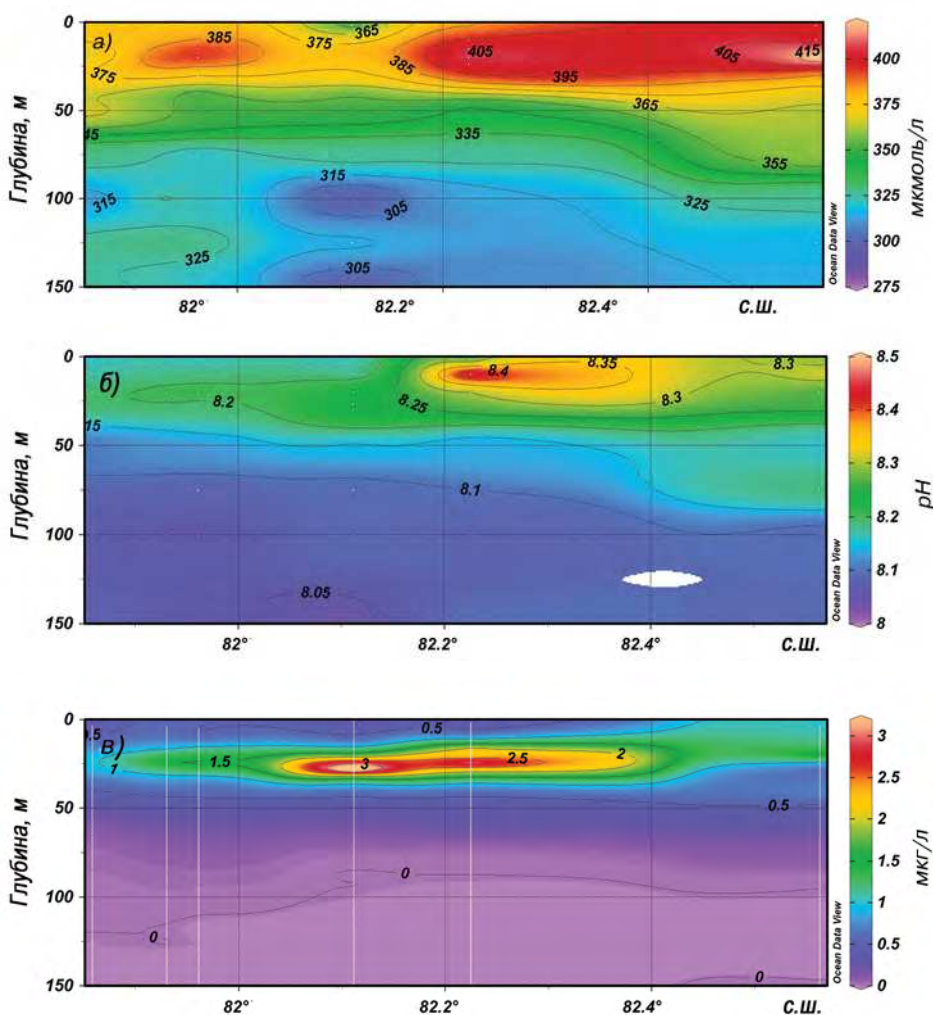


Рис. 3.2.3. Распределение растворенного кислорода (а), pH (б) и флуоресценции хлорофилла (в) в поверхностном слое разреза поперек шельфового склона к северу от арх. Северная Земля.

Данные флуоресценции хлорофилла на кроссконтинентальном разрезе к северу от желоба Вилькицкого показывают, что слой активного цветения фитопланктона на шельфе залегает на глубине 15—25 м, а севернее, в бассейне СЛО, заглубляется до 30—50 м (рис. 3.2.4). Вероятно, это связано с уменьшением мутности и повышением прозрачности воды в центральном бассейне по сравнению с шельфом, где сказывается влияние речного стока и реминерализации.

На разрезе к югу от желоба в придонном слое выделяется область холодных шельфовых вод, характеризующихся повышенной концентрацией биогенных элементов, пониженным содержанием кислорода (около 7 мл/л) и пониженными значениями pH (рис. 3.2.5), что свидетельствует о высокой степени минерализации органического вещества.

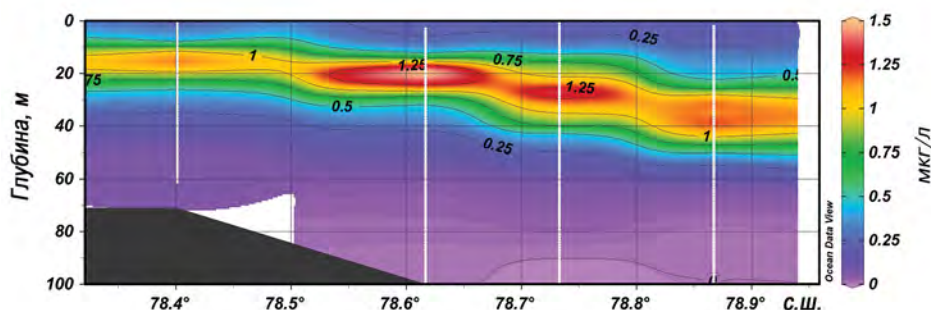


Рис. 3.2.4. Распределение флуоресценции хлорофилла (мкг/л) на разрезе к северу от желоба Вилькицкого.

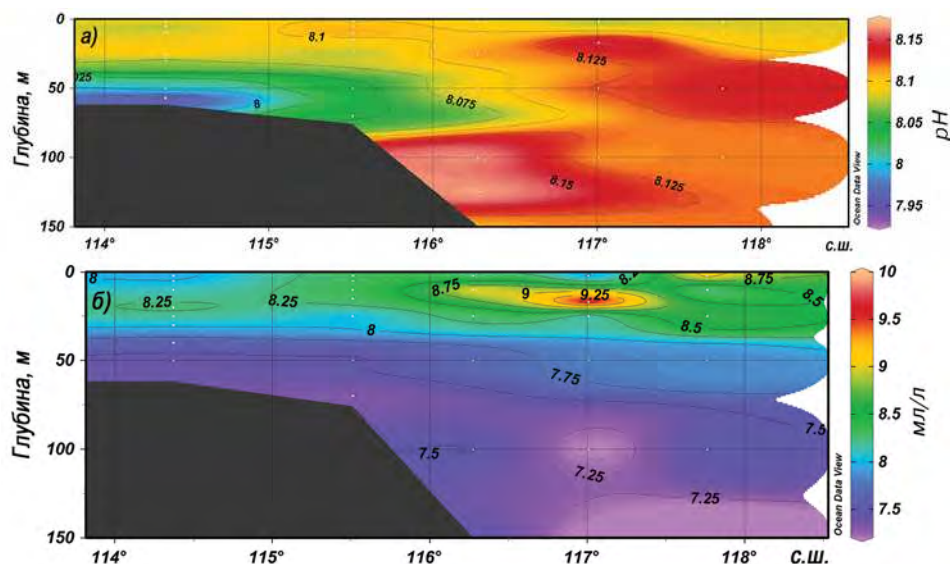


Рис. 3.2.5. Распределение водородного показателя (а) и содержания растворенного кислорода (б) на разрезе к югу от желоба Вилькицкого.

Общая щелочность морской воды является мерой концентрации растворенных слабых неорганических кислот (в основном гидрокарбонатов). Измерения данного параметра позволяют различать источники распреснения морской среды (талые воды, осадки, речной сток) и представляют особый интерес во фронтальных зонах. Общая щелочность является одним из исходных параметров при расчетах элементов карбонатной системы в морской воде, а также позволяет оценить биологическое потребление растворенного минерального углерода.

В поверхностном слое значения общей щелочности показывают влияние речного стока или распреснения при ледотаянии. В слое ниже 50 м распределение практически равномерное. Значения составляют 2,3—2,5 ммоль/л, что соответствует чисто морской воде.

На основе щелочно-соленосного соотношения (TA/S) проведен расчет фракции речной воды решением системы уравнений. Соотношение менее 0,07 соответствует чисто морской воде, а более высокие его значения отражают влияние речного стока или таяния льда.

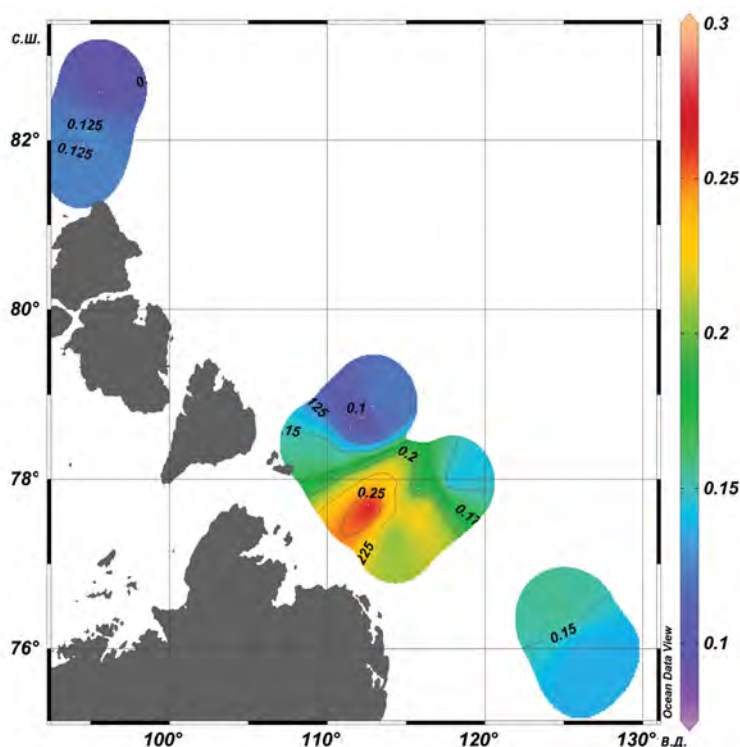


Рис. 3.2.6. Поверхностное распределение фракции речной воды по соотношению TA/S (в долях единицы).

Расчеты показывают преобладание в районе работ морских вод (рис. 3.2.6), однако в поверхностном слое наблюдается влияние залива речных вод (доля речных вод до 0,25) из Карского моря. Кроме того, значения соотношения TA/S хорошо согласуются с результатами, полученными в рейсе ЛАПЭКС-2014 в том же районе (рис. 3.2.7).

Анализ архивных данных показывает, что потребление растворенного кислорода в придонном слое шельфа моря Лаптевых наиболее интенсивно происходит зимой за счет процессов окисления и дыхания.

Содержание биогенных элементов на шельфе моря в зимний период выше, чем летом, особенно в мелководной южной части моря. Отчасти это происходит за счет минерализации органического вещества, отчасти — за счет конвективного перемешивания. Однако на шельфе значения концентрации минерального азота (нитратов), даже в придонном слое зимой, в три раза ниже содержания биогенных элементов в глубинных водах центрального бассейна СЛО и в шесть раз ниже содержания общего растворенного азота на шельфе моря.

Летом, после весенней вспышки цветения фитопланктона, поверхностный слой моря практически не содержит биогенных элементов. Биогенное питание фитопланктона осуществляется в основном из придонного слоя через пикноклин.

Летом в придонных слоях южной части моря содержание кислорода выше, чем зимой, несмотря на ярко выраженный скачок плотности между верхним ква-

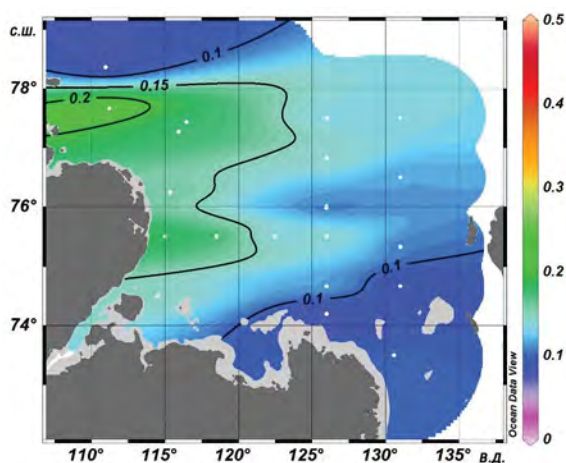


Рис. 3.2.7. Распределение фракции речной воды по данным о солености и общей щелочности сентября 2014 г. на горизонте 15 м.

зиднородным слоем и глубинными водами шельфа и большое количество органического вещества (ОВ), выносимого реками и производимого в процессе цветения фитопланктона.

По данным различных исследователей, речной вынос ОВ в море Лаптевых довольно велик и продолжает возрастать в связи с климатическими изменениями. Около 90 % растворенного органического азота, выносимого реками, поступает в период с мая по октябрь, т.е. в вегетационный период. Минеральный сток рек в течение года практически постоянен. Заметный объем органического азота, тем не менее, не оказывает существенного влияния на содержание минеральных форм на шельфе. Легко окисляемая часть растворенного азота разлагается еще на речном гидрологическом фронте и немедленно потребляется морским фитопланктоном, вызывая лишь локальную вспышку цветения. Часть азота опускается в придонный слой в виде коллоидных частиц и фекальных пеллет. Это так же происходит в районе гидрофронта. На акваторию моря поступают только трудно окисляемые формы органического азота.

Результаты математического моделирования показывают, что экосистема шельфа моря Лаптевых является источником азота, но при этом азот лимитирует фотосинтез. Анализ данных показал, что около 90 % всего содержащегося в системе азота является органическим, т.е. не доступен для фотосинтеза.

Вероятно, поступающие с реками органические вещества не успевают минерализоваться в условиях низких температур и либо осаждаются в придонном слое, либо выносятся из системы течениями.

3.3. УРОВЕНЬ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

В 2018 г. наблюдения за уровнем моря проводились в Карском море на девяти станциях, семь из которых расположены в юго-западной части моря (им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос), Амдерма, Усть-Кара, Новый Порт, Диксон, им. М.В. Попова (о. Белый) и Сопочная Карга) и две — в северо-восточной части моря (мыс Стерлегова и ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина)). В море Лаптевых наблюдения за уровнем проводились на четырех станциях (Анабар, мыс Кигилях, пр. Санникова, о. Котельный). Чукотское и Восточно-Сибирское моря наблюдениями за уровнем моря освещены не были.

При этом стоит отметить, что на станции им. Е.К. Федорова (мыс Болванский Нос) наблюдения за уровнем проводились только с февраля по май и с августа по ноябрь, на станции Усть-Кара — с января по май и с июля по октябрь, на станции Диксон — с января по июнь и с августа по октябрь, на станции мыс Стерлегова — только с января по август, на станции ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина) — в апреле, сентябре и октябре, а на станции им. М.В. Попова (о. Белый) — только в августе и сентябре.

На станции Тикси наблюдения, прерванные в конце 2010 г., до сих пор не возобновлены. На станциях о. Визе, о-ва Известий ЦИК и о. Голомянный наблюдения, прекращенные ранее, возобновлены также не были.

Относительно полноценные наблюдения в течение года проводились только на трех станциях в Карском море и четырех станциях в море Лаптевых.

На протяжении 2018 г. колебания уровня на всех станциях Карского моря, как в его юго-западной, так и в северо-восточной части, происходили на повышенном фоне. Значения аномалии среднегодового уровня составили +17 см на станции ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос), +23 см на станции Амдерма, +14 см на станции Усть-Кара, +24 см на станции Новый Порт, +26 см на станции Сопочная Карга, +26 см на станции о. Диксон и +12 см на станции мыс Стерлегова. Стоит отметить, что практически на всех станциях Карского моря годовые значения уровня существенно превышают средние многолетние значения, причем даже на тех станциях, где в предыдущие годы наблюдались отрицательные среднегодовые значения (Сопочная Карга).

В море Лаптевых среднегодовой уровень был также выше нормы. При этом в юго-западной части моря Лаптевых, на станции Анабар, среднегодовой уровень (+22) см был заметно выше, чем на станциях Новосибирских островов: мыс Кигилях +19 см, пр. Санникова +15 см, о. Котельный +15 см.

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

Сезонные колебания уровня арктических морей

Как правило, сезонные колебания уровня арктических морей отличаются хорошо выраженным годовым ходом, характеризующимся минимумом весной (март — май) и максимумом осенью (сентябрь — ноябрь). В 2018 г. сезонные колебания уровня в целом были близки к норме, однако в некоторых случаях отмечались существенные отклонения (рис. 3.3.1).

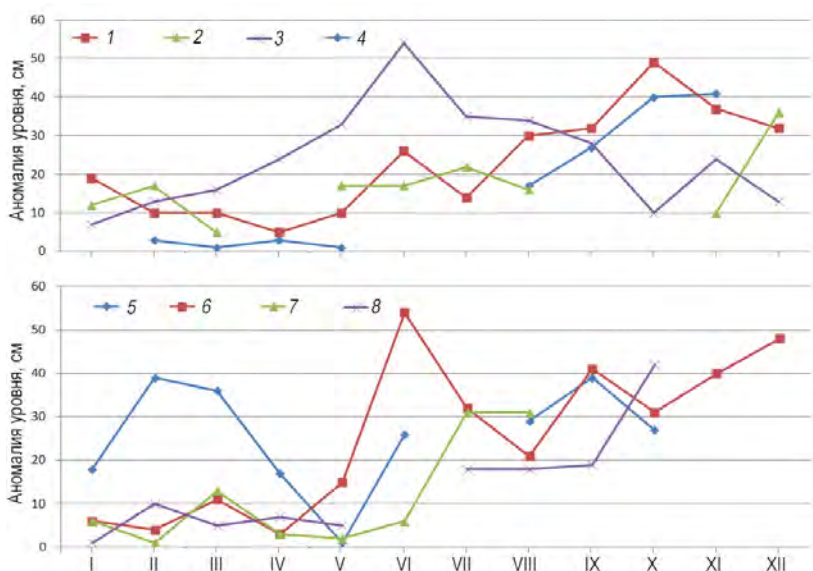


Рис. 3.3.1. Изменения среднемесячного значения уровня на станциях Карского моря в 2018 г.
 1 — Амдерма, 2 — ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина), 3 — Новый Порт, 4 — им. Е.К. Федорова (мыс Болванский Нос), 5 — Диксон, 6 — Сопочная Карга, 7 — мыс Стерлегова, 8 — Усть-Кара.

Еще раз стоит отметить, что на всех станциях Карского моря колебания уровня проходили на повышенном фоне.

С января по май практически на всех станциях Карского моря среднемесячные значения уровня были минимальными и не превышали +20 см. Исключение составили станции Новый Порт и о. Диксон. На станции Новый Порт в первые пять месяцев года происходило постепенное повышение уровня, и к маю его значение уже составляло +33 см. На станции о. Диксон колебания уровня в зимние и весенние месяцы происходили не совсем обычным образом: уровень заметно повышался в феврале (до +39 см), а к маю понижался (до +1 см). На остальных же станциях Карского моря в весенне-зимний период значения уровня были близки к средним многолетним.

В летние месяцы (июнь — август) на некоторых станциях Карского моря измерения не проводились. На станциях Новый Порт и Сопочная Карга в июне наблюдались максимальные среднемесячные значения +54 см. Это связано с тем, что обе станции расположены в эстуариях крупных рек, на которых на июнь приходится сезон половодья. На остальных станциях в течение лета наблюдалось постепенное повышение уровня моря; исключение составили станции ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина) и Усть-Кара, на которых аномалия уровенной поверхности оставалась в районе отметки +20 см.

В осенние месяцы (сентябрь — ноябрь) на таких станциях, как Амдерма, им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос) и Усть-Кара, наблюдались максимальные за год среднемесячные значения (+49, +41 и +42 см соответственно). При этом стоит отметить, что на станциях Сопочная Карга и ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина) в декабре уровень был значительно выше, чем в осенние месяцы.

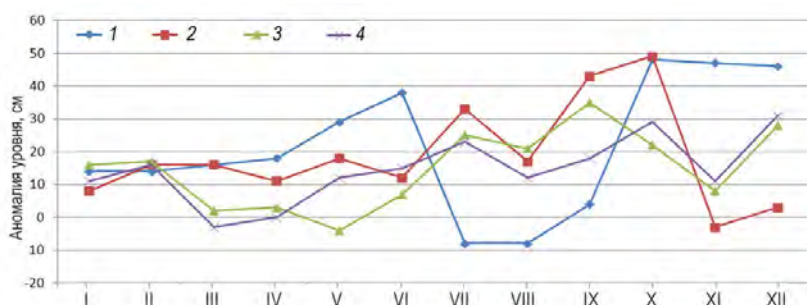


Рис. 3.3.2. Изменения среднемесячного значения уровня на станциях моря Лаптевых в 2018 г.

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

Отсутствие большого количества данных на многих станциях Карского моря не позволяет в полной мере оценить общую годовую изменчивость уровня. Всего лишь на трех из девяти станций имеются полные ряды среднемесячных значений.

В юго-западной части моря Лаптевых (п/ст Анабар) (рис. 3.3.2) в январе и феврале колебания уровня происходили на повышенном фоне (+14 см). Затем, до июня, происходило плавное повышение уровня поверхности до +38 см. В июле и августе наблюдалось резкое понижение уровня до значений ниже средних многолетних (–9 см), после чего в октябре уровень моря достиг максимальных за год значений (+49 см). Затем до конца года уровень моря практически не изменялся (+46 см в декабре).

В восточной части моря Лаптевых, в районе Новосибирских островов, с января по май колебания уровня в целом проходили на повышенном фоне (см. рис. 3.3.2). Исключение составило понижение уровня ниже средней многолетней отметки на станции пр. Санникова в марте (–2 см) и на станции о. Котельный в мае (–4 см). В мае — июне начался заметный подъем уровня. В июле промежуточный максимум наблюдался на всех трех станциях (пр. Санникова +22 см, мыс Кигилях +32 см, о. Котельный +35 см), но в августе высота уровня поверхности несколько уменьшилась. Максимум уровня в 2018 г. на станции о. Котельный был зафиксирован в сентябре (+35 см), на станции мыс Кигилях — в октябре (+49 см), а на станции пр. Санникова — в декабре (+31 см).

В целом для всех станций моря Лаптевых за исключением станции Анабар характерен хорошо выраженный сезонный ход уровня с минимумами в весенние месяцы и максимумами в осенние.

Сгонно-нагонные колебания уровня

Так же как в и последние несколько лет, в 2018 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 г. наиболее существенные

сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в ноябре — январе или июле — августе, а в 2016 и 2017 гг. — в январе — апреле.

На акватории Карского моря максимумы сгонно-нагонных колебаний на разных станциях наблюдались в разное время. В юго-западной части моря, по данным станций им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос), Амдерма и Усть-Кара, наибольшие сгоны были зафиксированы в период с 3 по 6 апреля, а нагоны — с середины октября по середину ноября. На станциях, расположенных в районе Енисейского залива, наибольшие сгоны наблюдались в январе — феврале, а наибольший нагон — 5 сентября. В Обской губе на станции Новый Порт самая низкая вода была зафиксирована 2 октября (–26 см), а самая высокая — 14 июня (+90 см). На востоке Карского моря, по данным станции ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина), максимальный сгон наблюдался 9 марта (–39 см), а нагон — 14 декабря (+73 см).

В юго-западной части моря Лаптевых на станции Анабар серия наиболее значительных сгонов наблюдалась с июля по октябрь, когда уровень опускался до –55 см. Максимальный уровень был зафиксирован 10 июня, когда он достиг отметки +126 см.

В восточной части моря Лаптевых, в районе Новосибирских островов, наиболее значительные сгоны были зафиксированы 22 марта и 24 ноября, когда уровень моря на станциях мыс Кигилях и о. Котельный опустился ниже среднего многолетнего значения на 62 и 69 см соответственно. Наиболее значительный подъем уровня наблюдался 8 сентября на станции мыс Кигилях, когда уровень поднялся до отметки +101 см.

Оценить сгонно-нагонные колебания уровня в Восточно-Сибирском и Чукотском морях на протяжении всего 2018 г. невозможно в связи с отсутствием регулярных наблюдений.

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 0,009 до 0,027 см/год при среднем значении 0,016 см/год и среднеквадратической ошибке $\pm 0,071$ 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. 3.3.3): 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 уровень даже вернулся к средним значениям. Однако в конце 1990-х — начале 2000-х годов уровень моря вновь стал повышаться и в 2005—

Таблица 3.3.1

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

Район	Период, годы		
	1950—2018	1950—1986	1984—2018
Юго-запад Карского моря	+0,331 $\pm$ 0,029	+0,009 $\pm$ 0,054	+0,604 $\pm$ 0,067
Восток Карского моря	+0,128 $\pm$ 0,030	+0,012 $\pm$ 0,078	+0,049 $\pm$ 0,077
Новосибирские острова	+0,217 $\pm$ 0,036	+0,027 $\pm$ 0,080	+0,268 $\pm$ 0,102
Среднее	+0,223 $\pm$ 0,032	+0,016 $\pm$ 0,071	+0,307 $\pm$ 0,082

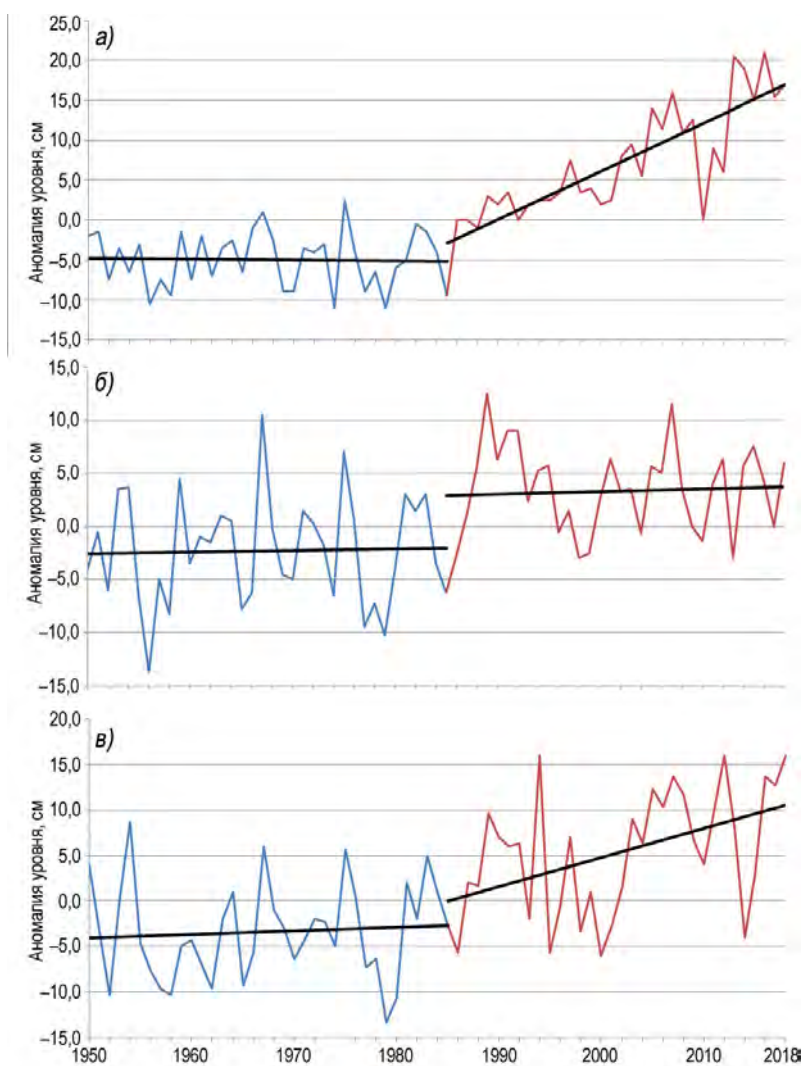


Рис. 3.3.3. Аномалии среднегодового уровня моря, осредненные по районам арктических морей.

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

Прямые линии показаны линейные тренды.

2009 г. 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 периода 2005—2009 гг. В 2013 г. в этом районе был зафиксирован исторический максимум уровня, перекрытый в 2016 г. После этого в 2017 г. уровень незначительно понизился, оставаясь на повышенном фоне. В 2018 г. уровень немного повысился по сравнению с 2017 г. В восточной

части Карского моря тенденции к повышению уровня были выражены слабо и, скорее, носили характер слабых колебаний на повышенном фоне. При этом 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 и 2017 гг. это повышение продолжилось. В 2018 г. среднегодовой уровень достиг максимального за последние годы значения.

Значение тренда за период 1984—2018 гг. для различных районов арктических морей составило от 0,049 до 0,604 см/год при среднем значении тренда 0,307 см/год и среднеквадратической ошибке $\pm 0,082$ см/год. При этом наиболее значительный тренд был зафиксирован, как и ранее, в юго-западной части Карского моря. Необходимо отметить, что в 2017 и 2018 гг. линейный тренд практически не изменился по сравнению с 2016 г.

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. Последние исследования показали, что определенное влияние оказывают и геофизические факторы.

Выводы

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

- на протяжении 2018 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 2018 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания уровня наблюдались преимущественно в январе — марте и августе — ноябре, т. е. величины сгонно-нагонных колебаний в зимний период года были сопоставимы с величинами колебаний в осенний период;
- для всех районов характерно увеличение среднегодовых значений уровня в 2018 г. по сравнению с 2017 г.; особенно стоит отметить подъем уровня до максимальной отметки в районе Новосибирских островов. В целом же как и на юго-западе Карского моря, так и в море Лаптевых сохраняется положительная тенденция в межгодовом ходе уровня моря, чего нельзя сказать о станциях восточной части Карского моря.

3.4. ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ НА АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Ввиду отсутствия продолжительных инструментальных измерений волнения в арктических морях России обзор ветрового волнения основывается на результатах модельных расчетов и прогнозов. Мониторинг ветро-волновых условий осуществляется посредством ежедневного использования авторской спектрально-параметрической модели AARI-PD2, разработанной в ЛО ГОИН и модифицированной в ААНИИ.

Район российской Арктики аппроксимируется двумя большими расчетными областями с шагом $1,0^\circ$ по долготе и $0,5^\circ$ по широте. Первая расчетная область включает в себя Баренцево и Карское моря (западный сектор), а вторая — моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское (восточный сектор). Основными исходными данными модели являлись поля атмосферного давления на уровне моря (или поля составляющих скорости ветра на высоте 10 м), температура воздуха на высоте 2 м, а также батиметрические данные в узлах расчетной сетки. Исходные данные оперативно поступают из метеорологического центра Брэнкелл (Великобритания, EGRR) в ААНИИ в центр коммутации сообщений (ЦКС UNIMAS) автоматизированной системы передачи данных (АСПД) Росгидромета (формат данных GRIB1). Положение кромки льда при расчетах задавалось по ежедневным спутниковым многоканальным микроволновым данным (SSM/I) и уточнялось по данным реанализа сплошности льда ААНИИ.

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

Баренцево море

Из табл. 3.4.1 видно, что на акватории Баренцева моря в 2018 г. преобладало волнение с высотой волн от 2 до 3 м (32 % случаев). Повторяемость случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составила в 2018 г., как и в 2017 г., 13 %. Соответствующая повторяемость за период 2007—2016 гг. составила:

Год	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Повторяемость, %	30	27	24	23	16	13	10	8	15	11	13

2018 г. был для Баренцева моря менее штормовым по сравнению с 2017 г. Максимальная высота волн на входе в Баренцевом море (более 8,5 м) была рассчитана на 22 октября 2018 г. (на 00 ч UTC). Для сравнения в декабре 2017 г. она составляла более 9,5 м. Продолжительность шторма составила 3 дня (с 21 по 23 октября).

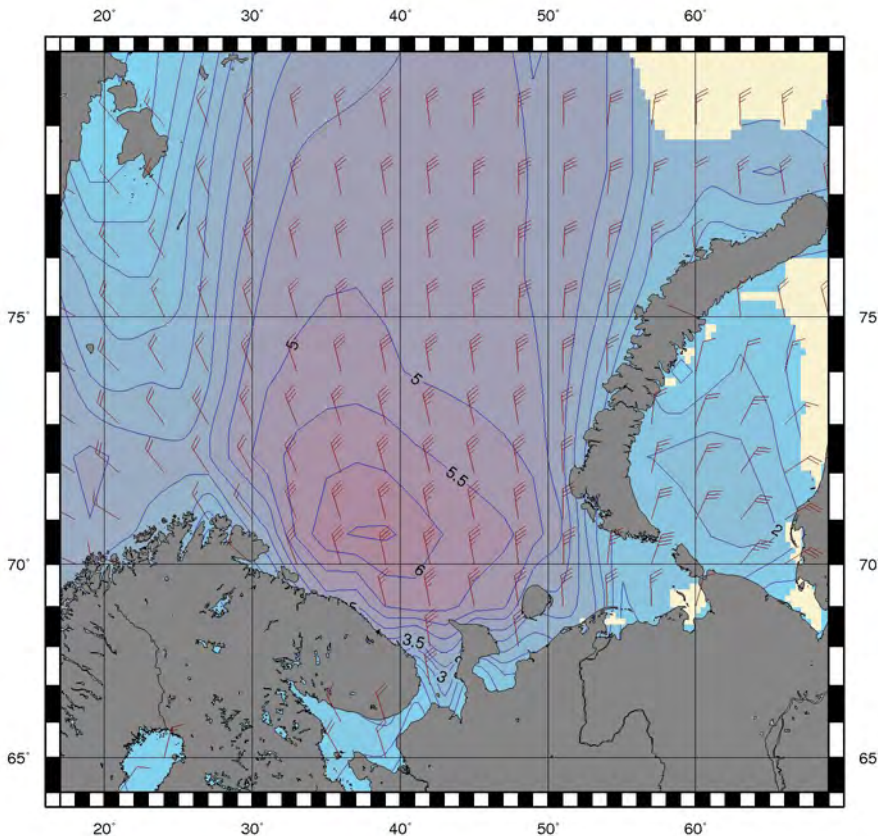
По числу штормов наиболее штормовым месяцем в Баренцевом море стал ноябрь. Число штормовых дней с высотой волн более 5 м в ноябре составило девять. Наиболее продолжительный штормовой период отмечался с 19 по 24 ноября (6 дней). При этом высота волны на входе в Баренцево море превысила 7,5 м (23 ноября на 18 ч UTC), а с 20 по 22 ноября трижды была рассчитана высота волны более 6,5 м (20 ноября на 18 ч, 21 ноября на 00 ч и 22 ноября на 12 ч UTC).

На рис. 3.4.1 в качестве примера приведено поле ветра и высоты волн H_s на акватории Баренцева моря на 18 ч UTC 20 ноября 2018 г.

Таблица 3.4.1

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
в Баренцевом море в 2018 г.**

Месяц	Высота волн, м								
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9
Январь	—	—	8	9	10	4	—	—	—
Февраль	—	4	11	3	6	2	2	—	—
Март	—	3	13	6	4	5	—	—	—
Апрель	—	4	11	12	2	1	—	—	—
Май	—	3	11	8	7	—	2	—	—
Июнь	—	3	13	8	2	4	—	—	—
Июль	—	16	13	2	—	—	—	—	—
Август	—	8	16	7	—	—	—	—	—
Сентябрь	—	6	5	9	5	5	—	—	—
Октябрь	—	1	6	10	9	4	—	—	1
Ноябрь	—	1	6	12	2	5	3	1	—
Декабрь	—	—	4	8	9	9	1	—	—
Итого за год	—	49	117	94	56	39	8	1	1

Рис. 3.4.1. Поле ветра и высоты волн (H_s , м) в Баренцевом море 20 ноября 2018 г. на 18 ч UTC.

Карское море

Карское море в начале января 2018 г. было покрыто льдом, но в третьей декаде января к северо-востоку от арх. Новая Земля образовалась небольшая область чистой воды, которая сохранялась до 20—22 февраля. В конце февраля море вновь покрылось льдом.

Карское море стало вновь открываться в конце июня, что на месяц позднее по сравнению с 2017 г. В табл. 3.4.2 приведены сведения о распределении высоты волн H_s на чистой воде для Карского моря в 2018 г.

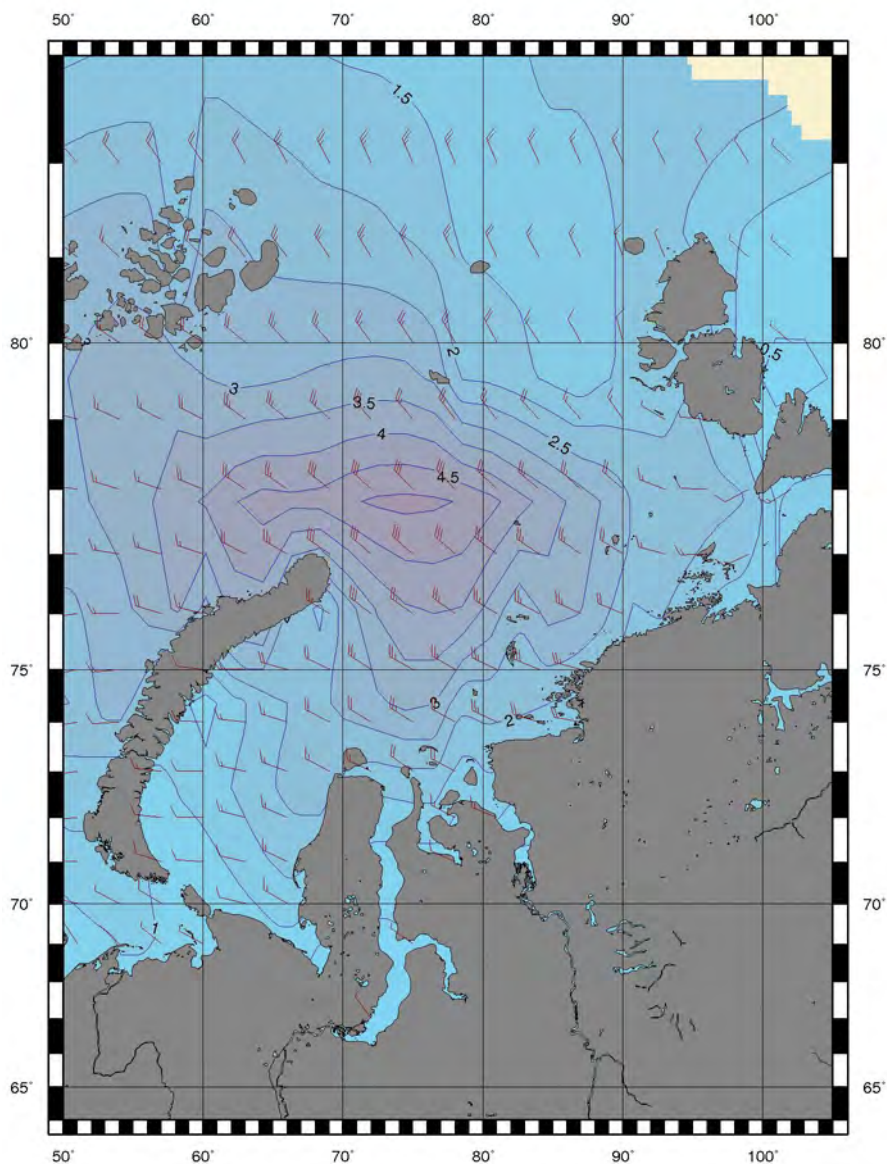


Рис. 3.4.2. Поле ветра и высоты волн (H_s , м) в Карском море на 18 ч UTC 1 сентября 2018 г.

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
в Карском море в 2018 г.**

Месяц	Высота волн, м					
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6
Январь (с 20 января)	2	10	—	—	—	—
Февраль (до 20 февраля)	8	8	—	2	2	—
Июнь (с 20 июня)	10	1	—	—	—	—
Июль	4	10	16	1	—	—
Август	2	13	14	2	—	—
Сентябрь	—	10	7	8	3	2
Октябрь	1	6	15	6	2	1
Ноябрь	3	7	13	7	—	—
Декабрь	1	6	14	10	—	—
Итого	31	71	79	36	7	3

Как видно из табл. 3.4.2, в Карском море в 2018 г. в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высоты волн от 1 до 3 м (66 % случаев). Наиболее штормовыми месяцами стали сентябрь и октябрь. Максимальная высота волн составила более 5,5 м (1 сентября на 18 ч UTC). Море полностью очистилось от льда в начале августа. Граница области чистой воды в конце сентября доходила до 83—84° с.ш.

В конце октября море стало быстро закрываться в восточной части, и к середине ноября больше половины моря было покрыто льдом. В 2017 г. после 10 декабря море закрылось, а в 2018 г. пр. Карские Ворота был открыт в течение всего декабря. В начале декабря в Карском море были две области чистой воды (к северо-востоку от арх. Новая Земля и в юго-западной части моря), причем в конце декабря область чистой воды в юго-западной части распространилась до 74° с.ш., что редко бывает в Карском море в это время года.

На рис. 3.4.2 в качестве примера приведено поле ветра и высоты волн H_s на акватории Карского моря на 18 ч UTC 1 сентября 2018 г.

Моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское

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

Как видно из табл. 3.4.3 — 3.4.5, в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (42, 45 и 36 % случаев соответственно).

Наиболее штормовым месяцем для моря Лаптевых стал сентябрь, для Восточно-Сибирского моря — октябрь, а для Чукотского моря — ноябрь.

Наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых составила 5,5—6,0 м (27 сентября на 18 ч и 28 сентября на 00 и 06 ч), что на 2 м больше, чем в 2017 г.

Наибольшая расчетная высота волн в Восточно-Сибирском море составила более 5,0 м (10 октября на 06 и 12 ч).

Таблица 3.3.3

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
в море Лаптевых в 2018 г.**

Месяц	Высота волн, м					
	0—1	1—2	2—3	3—4	5—6	5—6
Июнь	7	21	2	—	—	—
Июль	4	19	8	—	—	—
Август	1	11	18	1	—	—
Сентябрь	—	7	10	9	2	2
Октябрь	1	7	15	2	5	1
Итого	13	65	53	12	7	3

Таблица 3.4.4

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
на акватории Восточно-Сибирского моря в 2018 г.**

Месяц	Высота волн, м					
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6
Август	8	15	8	—	—	—
Сентябрь	—	11	7	12	—	—
Октябрь	—	15	9	4	2	1
Ноябрь (до 05.11)	2	3	—	—	—	—
Итого	10	44	24	16	2	1

Таблица 3.4.5

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
в Чукотском море в 2018 г.**

Месяц	Высота волн, м					
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6
Май	16	10	5	—	—	—
Июнь	3	18	9	—	—	—
Июль	3	20	5	3	—	—
Август	2	15	11	3	—	—
Сентябрь	1	12	14	3	—	—
Октябрь	—	5	15	6	5	—
Ноябрь	—	2	6	12	8	2
Декабрь (до 15.12)	—	1	3	8	2	1
Итого	25	83	68	35	15	3

Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила более 5,0 м (26 ноября на 06, 12 и 18 ч; 27 ноября на 12 и 18 ч и 2 декабря на 06 ч), что на 1,5 м меньше, чем в 2017 г.

Море Лаптевых полностью освободилось от льда в конце августа, и к середине сентября область чистой воды доходила в море Лаптевых до 81—82° с.ш. Закрылось море в начале ноября.

Особая ледовая обстановка сложилась в этом году в Восточно-Сибирском море, которое начало открываться в начале августа, что на месяц позднее по срав-

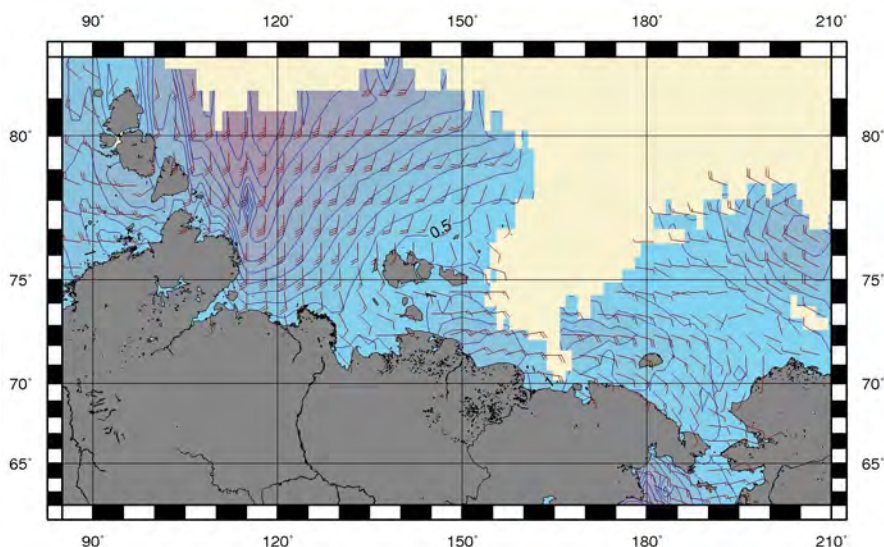


Рис. 3.3.3. Поля ветра и высоты волн (H_s , м) в морях восточной Арктики на 18 ч UTC 27 сентября 2018 г.

нению с 2017 г. Обычно в сентябре море полностью освобождается от льда, но в этом году к концу сентября Восточно-Сибирское море открылось лишь в западной и восточной частях, а центральная часть моря оставалась покрытой льдом. В начале ноября море закрылось.

Область чистой воды в Чукотском море в июле распространялась до 73° с.ш., в августе — до $74\text{--}75^\circ$ с.ш., а в сентябре — до 78° с.ш. В октябре граница чистой воды опустилась до 75° с.ш., к концу ноября — до 73° с.ш., а в середине декабря Чукотское море полностью покрылось льдом.

На рис. 3.4.3 в качестве примера приведено поле ветра и высоты волн H_s для морей восточной части Арктики на 18 ч UTC 27 сентября 2018 г.

Выводы

Анализ результатов модельных расчетов значительной высоты ветровых волн (H_s) за 2018 г. на акватории арктических морей России показал следующее.

В Баренцевом море преобладало волнение с высотой волн от 2 до 3 м (32 % случаев), наиболее штормовыми месяцами стали октябрь и ноябрь. Повторяемость случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составила в 2018 г. 13 %. Максимальная высота волн на входе в Баренцево море (более 8,5 м) была рассчитана 22 октября 2018 г. (на 00 ч UTC). Продолжительность шторма составила 3 дня (с 21 по 23 октября).

В Карском море преобладало волнение в диапазоне высоты волн от 1 до 3 м (66 % случаев). Наиболее штормовыми месяцами стали сентябрь и октябрь. Максимальная высота волн составила более 5,5 м. Море полностью очистилось от льда в начале августа. Граница области чистой воды в конце сентября доходила до $83\text{--}84^\circ$ с.ш.

В конце октября море стало быстро закрываться в восточной части, и к середине ноября больше половины моря было покрыто льдом. В начале декабря в Карском

море были две области чистой воды (к северо-востоку от арх. Новая Земля и в юго-западной части моря), причем в конце декабря область чистой воды в юго-западной части распространилась до 74° с.ш., что редко бывает в Карском море в это время года. Пролив Карские ворота был открыт в течение всего декабря.

В море Лаптевых в основном преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (42 % случаев), наиболее штормовым месяцем стал сентябрь, а наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых составила 5,5—6,0 м, что на 2 м больше, чем в 2017 г.

В Восточно-Сибирском море преобладало волнение от 1 до 2 м (45 % случаев). Наиболее штормовым стал октябрь. Наибольшая расчетная высота волн составила 5,0—5,5 м. Необходимо отметить особую ледовую обстановку в Восточно-Сибирском море в 2018 г. Море начало открываться в начале августа. Обычно в сентябре море полностью освобождается от льда, но в этом году к концу сентября Восточно-Сибирское море открылось лишь в западной и восточной частях, а центральная часть моря оставалась покрытой льдом. В начале ноября море закрылось.

В Чукотском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (36 % случаев). Наиболее штормовым месяцем для Чукотского моря стал ноябрь, а наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила более 5,0 м, что на 1,5 м меньше, чем в 2017 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая данные мониторинга развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов и характера их проявления в метеорологических условиях полярного района Арктики за период январь — декабрь 2018 г., можно сделать следующие выводы.

В первом секторе Северного полушария в 2018 г. по сравнению с 2017 г. произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от преобладания западной формы циркуляции к преобладанию восточной. Наибольшая повторяемость процессов восточной формы отмечалась в периоды январь — февраль и май — август.

Во втором секторе Северного полушария в среднем за год в большинстве месяцев 2018 г., как и в 2017 г., аномально высокой была повторяемость меридиональных процессов типа M_1 . Повторяемость меридиональных процессов типа M_2 устойчиво превышала норму в период июль — декабрь.

Фон приземного давления в районе исландского минимума в среднем за 2018 г. по сравнению с 2017 г. понизился до отрицательных аномалий 2—3 гПа. Центр исландского минимума располагался чаще южнее своего среднего многолетнего положения. В районе алеутского минимума отмечалась активизация циклонической деятельности. Среднегодовое понижение давления по сравнению с 2017 г. — от положительных аномалий до отрицательных — на акватории Берингова моря составило от 2 до 4 гПа.

В 2018 г. циклоны в системе исландского и алеутского минимумов смещались в Арктику чаще по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям, что способствовало формированию отрицательных среднегодовых значений аномалий давления в полярном районе Арктики.

В полярном районе фон температуры с положительными аномалиями сохранился, но имел тенденцию к понижению, которая наблюдается второй год подряд. Понижение температурного фона (по сравнению с экстремальным 2016 г.) в 2017 и 2018 гг. составило 1,7 и 2,1 °C соответственно.

Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха до 4—5 °C отмечались в морях восточного района российского сектора Арктики. Этот район внес наибольший вклад в формирование высокого температурного фона полярного района в 2018 г.

Во всех районах арктических морей в период 1936—2018 гг. знак тренда хода среднегодовой температуры был положительным. Наиболее высокими темпами повышение температуры происходит в районах приатлантического и притихоокеанского секторов. Результаты мониторинга состояния приземной атмосферы в Северной полярной области позволяют сделать вывод о сохранении в последние годы тенденции к потеплению в высоких широтах.

В межгодовых изменениях годовых сумм осадков за период 1936—2018 гг. в Северной полярной области наблюдается сохранение тенденции статистически значимого увеличения количества осадков. Однако весь рост количества осадков в СПО

обеспечен их увеличением в широтной зоне к югу от 70° с.ш. (на 8 % от нормы). Сохраняется тенденция к уменьшению годовых сумм осадков на акватории морей российского сектора Арктики (Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском).

Развитие ледовых условий характеризовалось следующими условиями.

Толщина припайного льда на период максимального нарастания (май) была меньше нормы практически во всех арктических морях российского сектора Арктики. Аномалия толщины припайного льда на период максимального нарастания (конец мая) составляла –20...–30 см.

Общее количество льдов в Северном Ледовитом океане в конце второго квартала 2018 г., перед началом интенсивного таяния льда, составило 9,6 млн км², что на 6,7 % меньше среднего многолетнего значения по длинному ряду наблюдений 1978—2018 гг.

Таяние и разрушение ледяного покрова интенсивно начались в окраинных морях российского сектора Арктики (Баренцево и Чукотское). В начале периода таяния (июне) сформировались три обширных центра очищения арктических морей — в северной части Баренцева моря, в центральной части моря Лаптевых и в юго-западной части Чукотского моря.

В течение летнего периода очистилась прибрежная часть всех морей трассы СМП, кроме Восточно-Сибирского моря. При общем легком фоне ледовых условий сложные ледовые условия наблюдались только в Восточно-Сибирском море.

Площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2018 г. составила 4,7 млн км² при норме 6,1 млн км² (норма по ряду наблюдений с 1978—2017 гг.), что на 23 % меньше средних многолетних значений. По площади остаточного льда 2018 г. стал шестым по рангу минимумов в группе легких лет.

Объем льда по расчетам на модели совместной циркуляции вод и льдов Северного Ледовитого океана AARI — IOCM (разработка ААНИИ) на начало мая и начало октября составил 24,1 и 9,8 тыс. км³ соответственно. Таким образом, сокращение объема ледяного покрова в летний период в результате таяния и разрушения льда и выноса его в пролив Фрама составило 14,3 тыс. км³.

Ледообразование в октябре 2018 г. характеризовалось низкой интенсивностью повсеместно, кроме морей Восточно-Сибирского и Бофорта, в которых после летнего таяния сохранялись остаточные льды.

Увеличение интенсивности ледообразования и роста площади льда произошло в конце октября — ноябре. Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины октября по середину ноября, было экстремально большим за весь период наблюдений 1978—2018 гг. и составило 3,5 млн км², что на 60 % превысило среднее многолетнее значение по ряду наблюдений (2,2 млн км²).

Гидрологический режим СЛО и его морей характеризовался следующими особенностями.

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2018 г., гидрологический режим СЛО продолжает отличаться аномальным состоянием распределения температуры и солёности по отношению к климатическому среднему.

Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод, значение которой в 2018 г. составило +0,3 °С, а также летних тихоокеанских вод в Американо-Сибирском суббассейне, где превышение климатической нормы составило 0,7—1,0 °С, что несколько ниже значений 2017 г. (1,2—1,5 °С).

Полученные оценки аномалий температуры ядра атлантических вод в Амеразийском суббассейне СЛО в 2018 г. практически полностью соответствуют значениям предшествующего 2017 г.

На протяжении 2018 г. колебания уровня арктических морей в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения.

Среднегодовые значения уровня в 2018 г. во всех районах явно превышали значения за 2017 г. Особенно стоит отметить подъем уровня до максимальной отметки в районе Новосибирских островов. В целом же как на юго-западе Карского моря, так и в море Лаптевых сохраняется положительная тенденция в межгодовом ходе уровня моря, чего нельзя сказать о станциях северо-восточной части Карского моря.

В Карском море преобладало волнение в диапазоне высоты волн от 1 до 3 м (66 % случаев). Наиболее штормовыми месяцами стали сентябрь и октябрь. Максимальная высота наблюдаемых волн составила более 5,5 м.

В море Лаптевых в основном преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (42 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал сентябрь. Наибольшая расчетная высота волн в море составила 5,5—6,0 м, что на 2 м больше, чем в 2017 г.

В Восточно-Сибирском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (45 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал октябрь. Наибольшая расчетная высота волн составила 5,0—5,5 м.

В Чукотском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (36 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал ноябрь. Наибольшая расчетная высота волн составила более 5,0 м, что на 1,5 м ниже, чем в 2017 г.