

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
2019**

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

Санкт-Петербург
ААНИИ
2020

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северной полярной области, Северном Ледовитом океане и его морях в 2019 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 16.06.2020
Формат 70×100 1/16
Тираж 100

Печать цифровая
Усл. печ. л. 7,6
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), 2020

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 2019 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)	52
2.5. Ледово-гидрологические процессы в устьевых областях рек	60
3. Гидрологические и гидрохимические условия в Северном Ледовитом океане и его морях	72
3.1. Термохалинные условия	72
3.2. Уровень арктических морей	80
3.3. Ветровое волнение на акватории арктических морей	86
Заключение	93

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в 2019 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 элементов. В составлении раздела принимали участие специалисты лаборатории метеорологии (ответственный — зав. лабораторией канд. геогр. наук В.Ф. Радионов) и лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов (ответственный — 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 — 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 — 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 руководителем ААНИИ (общее руководство, научное редактирование);

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

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

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

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

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

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

Е.А. Павлова, науч. сотрудник (п. 2.1 — 2.4, редактирование);
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, главный науч. сотрудник (п. 3.1);
В.Ю. Карпий, ст. науч. сотрудник (п. 3.1);
Н.В. Лебедев, ст. науч. сотрудник (п. 3.1);
И.М. Ашик, зам. директора (п. 3.2);
В.А. Меркулов, науч. сотрудник (п. 3.2);
В.И. Дымов, зав. лабораторией (п. 3.3);
Н.П. Яковлева, науч. сотрудник (п. 3.3);
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 2019 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 2019 г.

При анализе крупномасштабных процессов 2019 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 2019 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), карт среднегодовых полей геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, приземных значений давления и температуры воздуха и их аномалии (рис. 1.1.3 — 1.1.8). Расчеты среднегодовых значений метеорологических показателей проводились по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужбы США (NOAA и NWS). Расчеты значений аномалий температуры воздуха проводились относительно норм за период с 1961 по 1990 г.

В первом секторе Северного полушария в 2019 г. повторяемость меридиональных процессов превысила многолетнюю норму на 49 дней и по сравнению с прошлым годом увеличилась на 32 дня. Повторяемость процессов восточной формы

Таблица 1.1.1

**Годовые значения числа дней с формами и типами циркуляции
и их отклонение от нормы в 2019 г.**

Повторяемость	Индекс циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	W	C	E	З	М ₁	М ₂
Число дней	99	122	144	77	149	139
Аномалия	–28	29	–1	–52	49	3

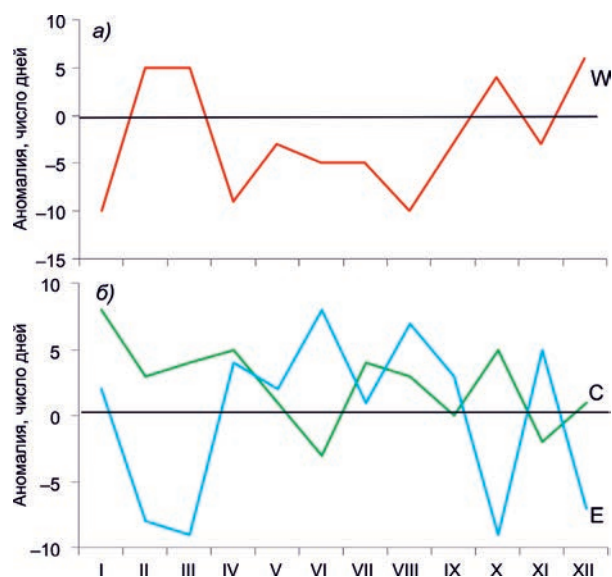


Рис. 1.1.1. Годовой ход среднемесячных значений аномалии числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в атлантико-евразийском секторе в 2019 г. W — западная (зональная) форма, C — меридиональная форма, E — восточная (меридиональная) форма.

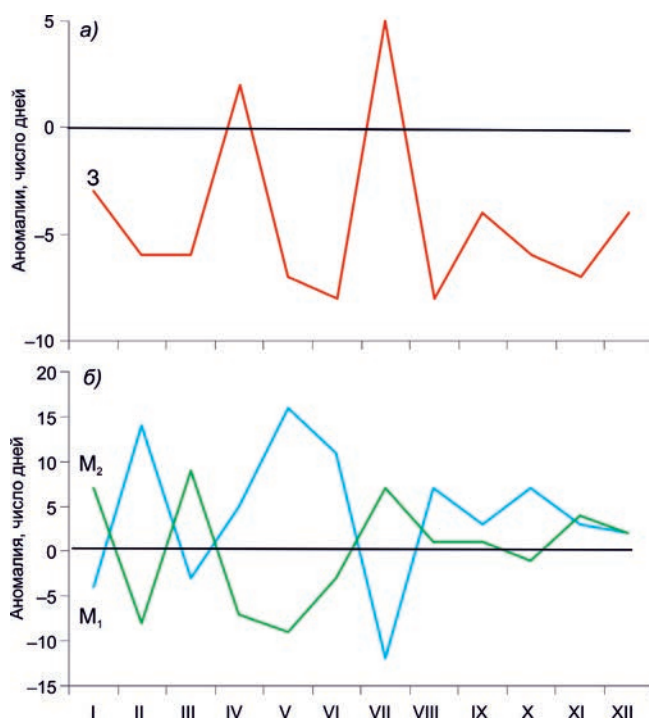


Рис. 1.1.2. Годовой ход среднемесячных аномалий числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в тихоокеано-американском секторе в 2019 г. Z — зональная форма, M₁ — первая меридиональная форма, M₂ — вторая меридиональная форма.

близка к норме. Наиболее высокую повторяемость процессы восточной формы имели в апреле — сентябре 2019 г.

Во втором секторе Северного полушария в 2019 г. отмечалась наиболее высокая повторяемость меридиональных процессов типа M_1 , которая превысила многолетнюю норму на 49 дней. Повторяемость меридиональных процессов типа M_2 близка к норме.

Зональные процессы в двух секторах Северного полушария были ниже нормы на 27 и 53 дня соответственно.

Таким образом, основной особенностью крупномасштабных процессов в Северном полушарии в 2019 г. явилось усиление межширотного воздухообмена, связанное с повышенной повторяемостью в 2019 г. разновидностей меридиональных процессов за счет ослабления на полушарии повторяемости зональных процессов.

В средней тропосфере, на изобарической поверхности 500 гПа, центр циркумполярного планетарного вихря (ЦПВ) в периоды февраль — март и октябрь — ноябрь находился вблизи своего многолетнего положения.

В апреле, июне и сентябре центр ЦПВ был смещен в сторону Азиатского континента — в район Карского моря и Таймыра. В период июль — август центр ЦПВ чаще формировался вблизи канадского сектора Арктики.

В январе, мае и декабре полярный район Арктики часто находился под влиянием высотных гребней антициклонов. ЦПВ имел два центра — 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 восточной частью Северной Атлантики (меридиональная форма циркуляции С). Во втором секторе блокирующие гребни располагались преимущественно над восточной частью акватории Тихого океана (меридиональный тип циркуляции $M1$), ось которого была часто ориентирована на районы Аляски и морей восточного сектора Арктики — Бофорта, Чукотского и Восточно-Сибирского.

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

В большинстве месяцев ВФЗ в атлантико-евразийском секторе Северного полушария в 2019 г. чаще располагалась южнее своего многолетнего положения. В результате смещение циклонов в системах исландского минимума в полярный район Арктики происходило по сравнению с нормой чаще по низкоширотным траекториям. В эти месяцы они не оказывали существенного влияния на полярный район Арктики.

Исключением стал период февраль — апрель, когда ВФЗ располагалась севернее своего многолетнего положения и циклоны смещались по высокоширотным траекториям в полярный район.

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

Средние за 2019 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.

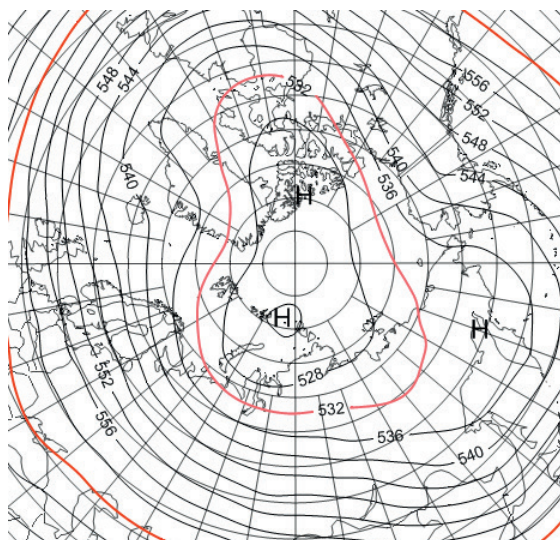


Рис. 1.1.3. Поле среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2019 г. .

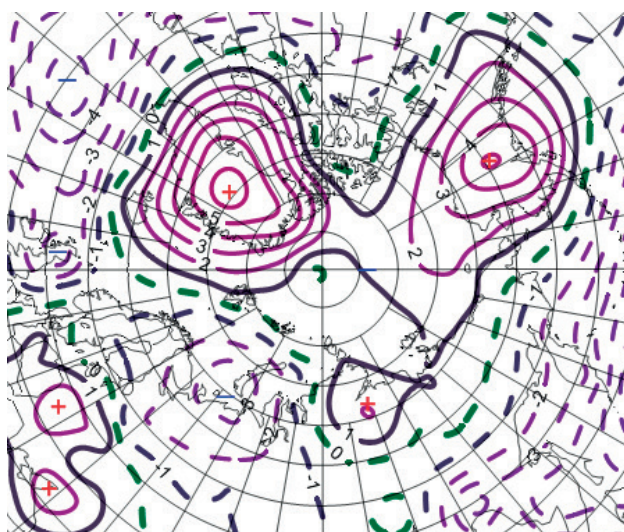


Рис. 1.1.4. Поле средней аномалии геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2019 г. .

В приземном поле давления при ослаблении циклонической деятельности в западном секторе и приполюсном районе Арктики преобладали положительные аномалии давления, что не характерно для последних лет и было связано с увеличением повторяемости низкоширотных траекторий циклонов в системе исландского минимума.

В восточном секторе при преобладании высокоширотных траекторий циклонов в полярном районе Арктики сформировалось поле отрицательных среднегодовых значений аномалий давления. Во втором секторе Северного полушария разви-

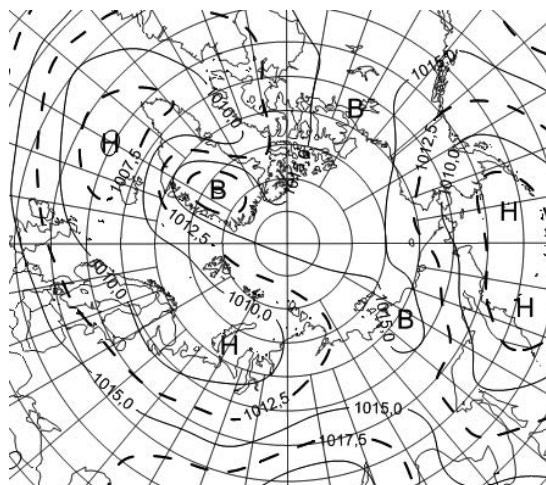


Рис. 1.1.5. Поле среднего приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2019 г.

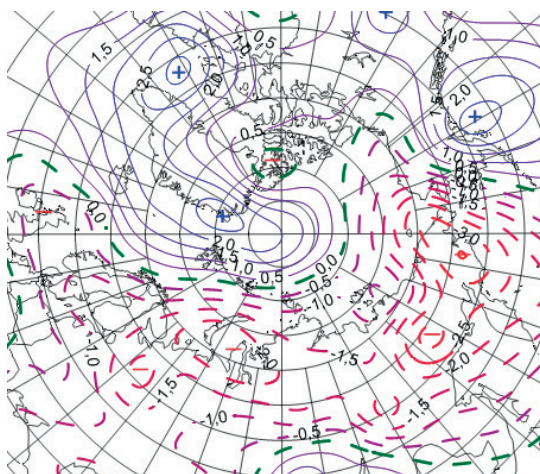


Рис. 1.1.6. Поле средней аномалии приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2019 г.

тие крупномасштабных атмосферных процессов было характерным для текущей циркуляционной стадии, когда циклоны в системе алеутского минимума смещались по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям (рис. 1.1.5 и 1.1.6).

Такое сочетание разновидностей крупномасштабных атмосферных процессов в Северном полушарии в 2019 г. способствовало преобладанию в среднем за год адвекции теплых воздушных масс и формированию устойчивого фона с положительными аномалиями температуры воздуха в полярном районе Арктики. Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха (до 4—5 °C) отмечались в восточном секторе полярного района. Этот район внес наибольший вклад в формирование высокого температурного фона полярного района в 2019 г. (рис. 1.1.7).

При этом фон температуры воздуха по сравнению с предшествующим 2018 г. повысился, но оказался на 1,4 °C ниже, чем в экстремально теплом 2016 г. (рис. 1.1.8).

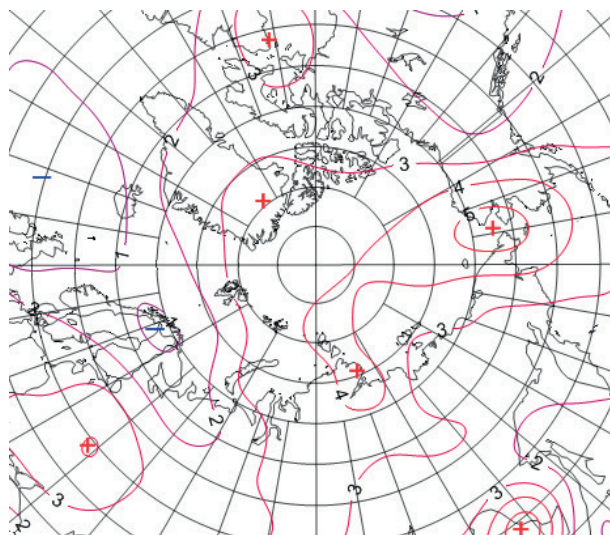


Рис. 1.1.7. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха (°C) за период январь — декабрь 2019 г.

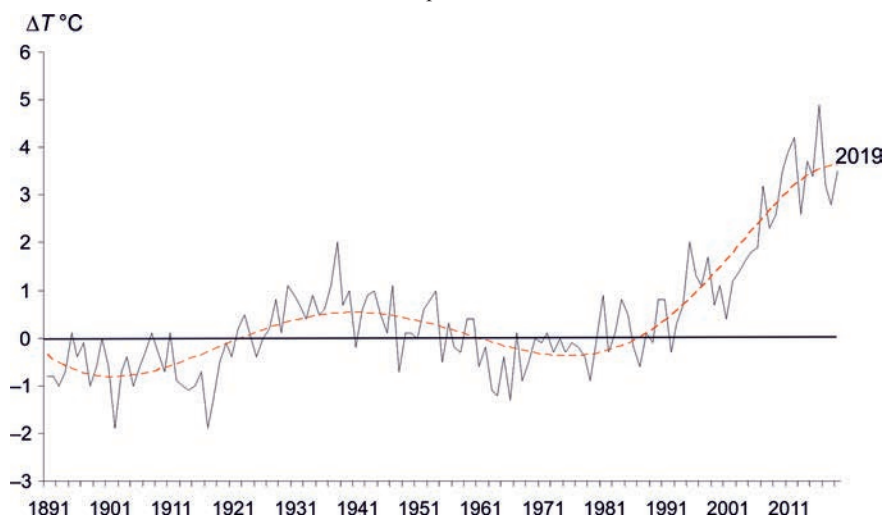


Рис. 1.1.8. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (°C) в широтном поясе 70 — 85° с.ш. (1891—2019 гг.).

Структурный анализ внутригодовых и внутримесячных особенностей развития атмосферных процессов в 2019 г. проводился по комплексу метеорологических характеристик (форма, тип циркуляции и их разновидности, направление воздушных потоков, давление и температура воздуха и их аномалии) за различные периоды осреднения, как календарные, так и по естественным стадиям перестройки процессов различного временного масштаба.

Анализ развития процессов показал, что в течение 2019 г. от месяца к месяцу отмечались частые изменения направленности развития крупномасштабных атмосферных процессов (см. рис. 1.1.1 и 1.1.2).

Внутри года выделены 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 2019 г. по среднемесячным данным выглядит следующим образом:

январь $(C+E)_{M_2} \rightarrow$ февраль $(W+C)_{M_1} \rightarrow$ март $(W+C)_{M_2} \rightarrow$
апрель $(E+C_{M_1+3}) \rightarrow$ май $(E+C)_{M_1} \rightarrow$ июнь $E_{M_1} \rightarrow$
июль $S_{3+M_2} \rightarrow$ август $(E+C)_{M_1} \rightarrow$ сентябрь $(E+C)_{M_1} \rightarrow$
октябрь $(W+C)_{M_1} \rightarrow$ ноябрь $E_{M_2+M_1} \rightarrow$ декабрь W_{M_2}

На рис. 1.1.9 представлены изменения средних месячных значений аномалии давления в полярном районе Арктики в январе — декабре 2019 г. в центральном полярном районе Арктики.

В 2019 г. в тенденциях изменения давления и температуры воздуха Арктики выделяются три периода.

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

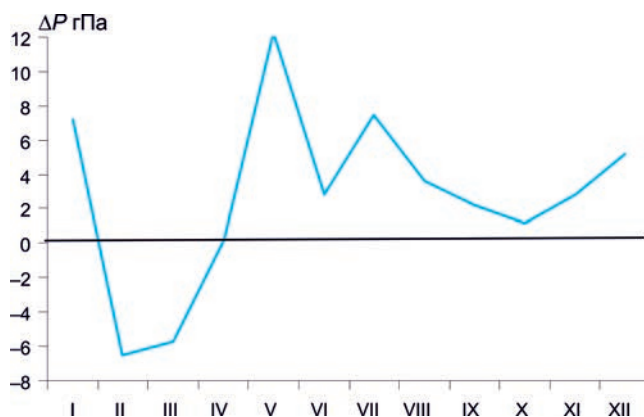


Рис. 1.1.9. Среднемесячные значения аномалии давления в январе — декабре 2019 г. в центральном полярном районе Арктики.



Рис. 1.1.10. Годовой ход среднемесячных значений аномалии температуры воздуха (°C) в широтном поясе 70—85° с.ш. в 2019 и 2018 гг.

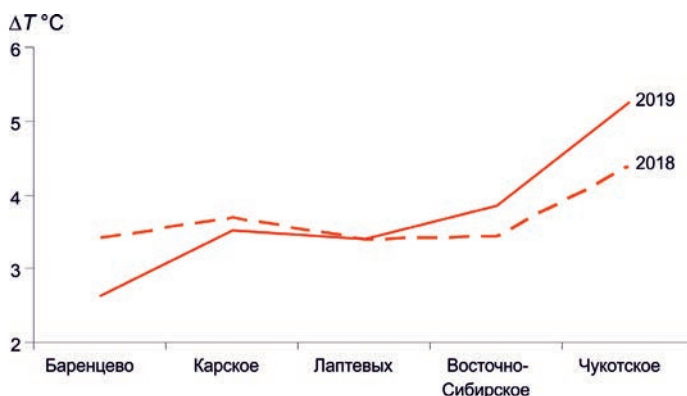


Рис. 1.1.11. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (°C) на акватории арктических морей Евразии в 2019 и 2018 гг.

Внутригодовые изменения среднемесячных значений аномалии температуры воздуха в Арктике в широтном поясе 70—85° с.ш. в январе — декабре 2019 г. представлены на рис. 1.1.10. В большинстве месяцев 2019 г. фон температуры воздуха в полярном районе выше, чем в 2018 г.

Изменения среднегодовых значений аномалии температуры воздуха в 2019 г. для акваторий морей российской Арктики в сравнении с 2018 г. приводятся на рис. 1.1.11.

На трассе СМП арктических морей России в 2019 г. преобладали положительные аномалии температуры воздуха.

По сравнению с предшествующим 2018 г. в 2019 г. на акватории Баренцева и Карского морей отмечалось понижение фона температуры воздуха. Наиболее значительное понижение температурного фона было отмечено в районе Баренцева моря, где сформировался наиболее низкий фон температуры воздуха на трассе СМП. Над акваторией восточных морей — Чукотского и Восточно-Сибирского — фон температуры повысился. Наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха на трассе СМП в 2019 г. отмечались для акватории Чукотского моря. Тенденции изменения температуры воздуха в 2019 г. в целом согласуются с перестройкой крупномасштабных атмосферных процессов и сменой в направленности воздушных потоков. Наибольшие значения положительных аномалий температуры отмечались под влиянием циклонов с Северной Атлантики и Тихого океана.

Анализ структурных особенностей циркуляции атмосферы внутри каждого месяца в 2019 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 разновидностей 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 2019 г. представлены в табл. 1.1.2.

Таблица 1.1.2

**Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма — Гирса
с января по декабрь 2019 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—2	<i>C</i>	M_2	1—3	<i>E</i>	M_1	1—3	<i>C</i>	M_2
3—7	<i>C</i>	3	4—6	<i>W</i>	M_1	4—7	<i>C</i>	M_2
8—11	<i>C</i>	M_1	7—12	<i>W</i>	M_1	8—10	<i>W</i>	M_2
12—17	<i>E</i>	M_2	13—14	<i>E</i>	M_2	11—12	<i>C</i>	3
18—20	<i>C</i>	M_2	15—17	<i>W</i>	M_1	13—14	<i>W</i>	3
21—24	<i>E</i>	M_2	18—19	<i>C</i>	M_2	15—18	<i>E</i>	M_2
25—29	<i>E</i>	M_2	20—22	<i>C</i>	M_1	19—25	<i>W</i>	M_2
30—31	<i>W</i>	M_1	23—24	<i>W</i>	M_2	26—28	<i>C</i>	M_1
			25—26	<i>C</i>	M_2	29—31	<i>W</i>	M_2
			27—28	<i>C</i>	M_2			
						30—31	<i>E</i>	M_1
Итого	W 2 (–10) C 14 (–8) E 15 (–2)	3 5 (–3) M_1 2 (–4) M_2 24 (7)	Итого	W 14 (5) C 9 (3) E 5 (–8)	3 0 (6) M_1 18 (14) M_2 10 (–8)	Итого	W 15 (5) C 12 (4) E 4 (–9)	3 4 (–6) M_1 3 (–3) M_2 24 (9)
<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	<i>C</i>	M_2	1—2	<i>W</i>	M_1	1—2	<i>W</i>	M_1
4—8	<i>E</i>	3	3—7	<i>C</i>	M_1	3—5	<i>E</i>	M_1
9—12	<i>C</i>	M_1	8—10	<i>E</i>	M_1	6—8	<i>E</i>	M_1
13—18	<i>E</i>	3	11—13	<i>E</i>	M_1	9—11	<i>W</i>	M_2
19—21	<i>C</i>	M_1	14—17	<i>C</i>	3	12—15	<i>C</i>	M_1
22—27	<i>E</i>	M_1	18—19	<i>E</i>	M_2	16—19	<i>E</i>	M_1
28—30	<i>C</i>	M_2	20—22	<i>E</i>	M_1	20—22	<i>E</i>	M_1
			23—24	<i>C</i>	M_1	23—26	<i>E</i>	M_1
			25—27	<i>W</i>	M_1	27—30	<i>C</i>	M_1
			28—30	<i>E</i>	M_1			
			31	<i>W</i>	M_1			
Итого	W 0 (–9) C 13 (5) E 17 (4)	3 11 (2) M_1 13 (5) M_2 6 (–7)	Итого	W 6 (–3) C 11 (1) E 14 (2)	3 4 (–7) M_1 25 (16) M_2 2 (–9)	Итого	W 5 (–5) C 8 (–3) E 17 (8)	3 0 (–8) M_1 27 (11) M_2 3 (–3)
<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—4	<i>E</i>	M_1	1—4	<i>C</i>	M_1	1—2	<i>E</i>	M_1
5—6	<i>W</i>	M_1	5—7	<i>C</i>	M_1	3—5	<i>E</i>	M_1
7—10	<i>C</i>	M_2	8—9	<i>W</i>	M_1	6—9	<i>W</i>	M_1
11—12	<i>C</i>	M_2	10—12	<i>C</i>	M_1	10—13	<i>E</i>	M_2
13—16	<i>C</i>	M_2	13—18	<i>E</i>	3	14—16	<i>W</i>	3
17—19	<i>W</i>	3	19—22	<i>E</i>	M_1	17—20	<i>C</i>	3
20—21	<i>C</i>	3	23—26	<i>E</i>	M_1	21—24	<i>C</i>	3
22—25	<i>E</i>	3	27—31	<i>E</i>	M_2	25—27	<i>E</i>	M_1
26—28	<i>E</i>	3				28—30	<i>W</i>	M_2
29—31	<i>C</i>	3						
Итого	W 5 (–5) C 15 (4) E 11 (1)	3 15 (5) M_1 6 (–12) M_2 10 (7)	Итого	W 2 (–10) C 10 (3) E 19 (7)	3 6 (–8) M_1 20 (7) M_2 5 (1)	Итого	W 10 (–3) C 8 (0) E 12 (3)	3 11 (–4) M_1 12 (3) M_2 7 (1)

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

Примечания: 1. ЭСП — элементарный синоптический процесс; А—Е — атлантико-европейский сектор полушария; Т—А — тихоокеано-американский сектор полушария. 2. В скобках приведены значения среднемесячной аномалии повторяемости (число дней) форм (W, C, E) и типов (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.

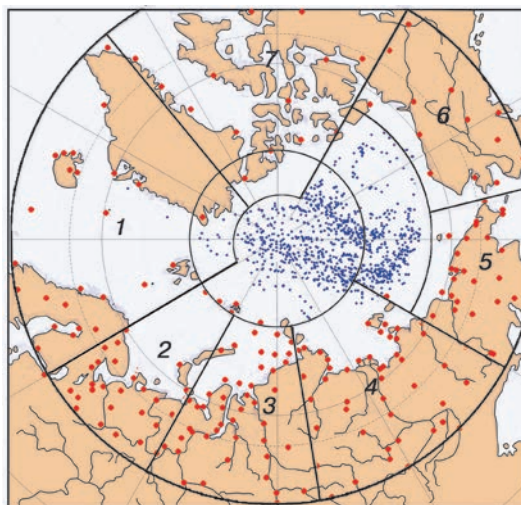


Рис. 1.2.1. Сеть метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) и границы рассматриваемых районов в СПО.

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

Температура воздуха

Основным методом получения пространственно осредненной по территории Северной полярной области и территориям климатических районов 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 на территории СПО
и отдельных широтных зон в среднем за год и за сезоны 2019 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	3,4	2	3,5	4	4,1	1	1,9	2	4,0	2
60—70	2,4	2	2,6	4	3,6	1	1,6	2	2,0	4
60—85	2,8	2	3,0	4	3,8	1	1,7	2	2,9	2

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2019 гг.

Оценка аномалий средних сезонных и среднегодовой температуры воздуха за 2019 г. по отдельным широтным зонам (60—85, 60—70 и 70—85° с.ш.) представлена в табл. 1.2.1.

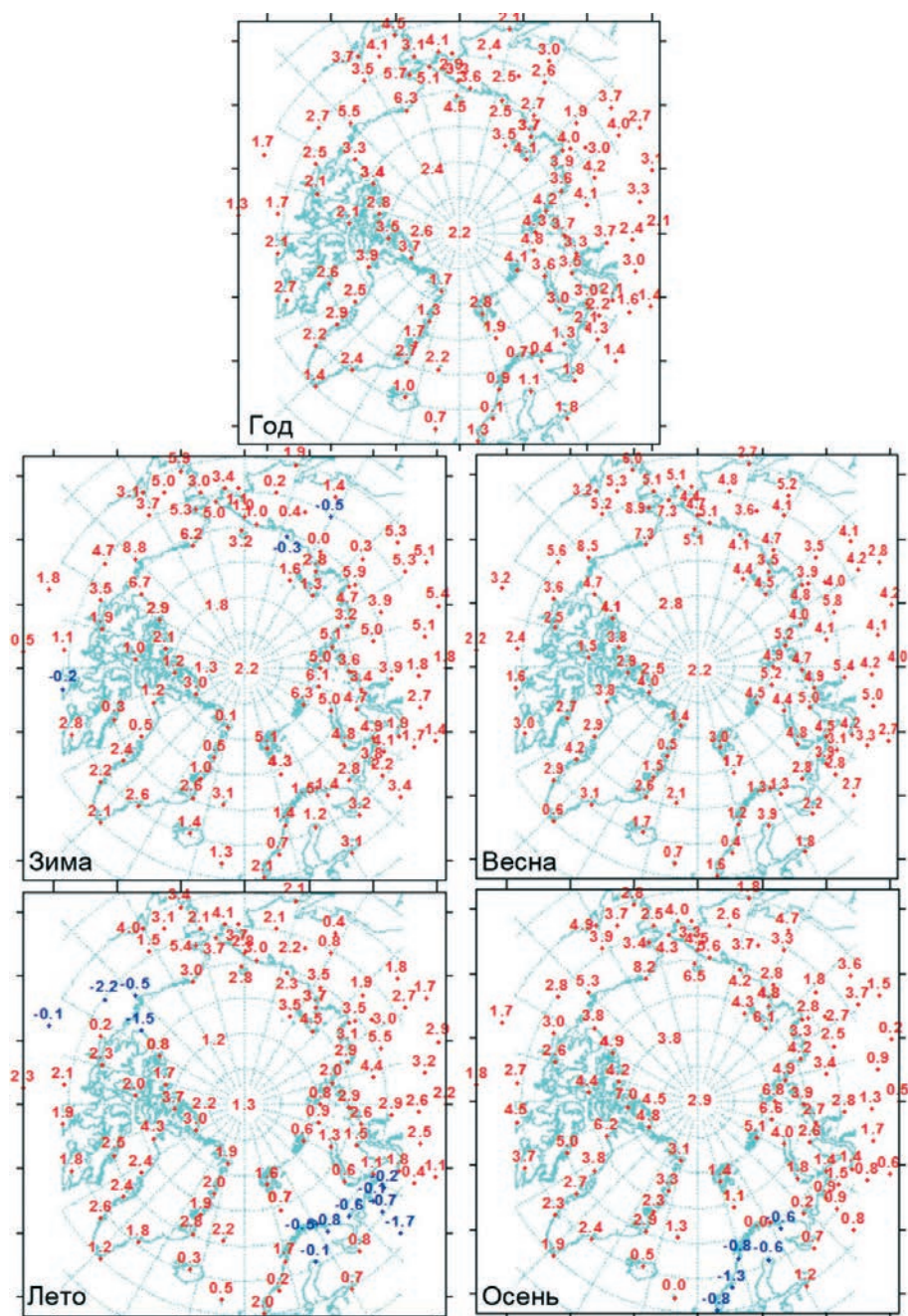


Рис. 1.2.2. Аномалии среднегодового и средних сезонных значений температуры воздуха (°C) на станциях СПО.

Значение пространственно осредненной аномалии среднегодовой температуры воздуха СПО составило 2,8 °С, и 2019 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 3,4 °С, а в зоне 60—70° с.ш. — 2,4 °С. Эти значения стали также вторыми по рангу теплых лет.

В 2019 г. на территории отдельных широтных зон области наиболее крупные аномалии температуры были отмечены к северу от 70° с.ш. Для широтной зоны 70—85° с.ш. весной аномалия составила 4,1 °С, а осенью 4,0 °С. Это соответствует первому и второму значениям по рангу теплых лет за период с 1936 г.

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

В 2019 г. году области крупных положительных аномалий температуры располагались преимущественно в восточной части евразийского сектора и в западной части североамериканского сектора. Самые крупные аномалии наблюдались на территории Восточно-Сибирского и Аляскинского районов. Значения пространственно осредненных по территории районов аномалий среднегодовой температуры воздуха составили соответственно 3,6 и 4,3 °С. Такие аномалии температуры в этих районах оказались наибольшими по рангу теплых лет за период с 1936 г.

В зимнем сезоне крупные положительные аномалии температуры воздуха наблюдались в центральной части азиатского сектора и в западной части североамериканского сектора СПО (см. табл. 1.2.2 и рис. 1.2.2). Значения аномалий, пространственно осредненных по территории Восточно-Сибирского и Аляскинского районов, составили 4,1 и 5,1 °С соответственно. Для этих районов прошедшая зима оказалась соответственно второй и четвертой по рангу теплых лет с 1936 г.

На метеорологических станциях в районах арктических морей крупные положительные аномалии наблюдались в северной части Баренцева и Карского морей, а также в прибрежной части моря Бофорта. Здесь на станциях аномалия температуры воздуха достигала 6—9 °С. В целом по району моря Бофорта пространственно осредненная аномалия составила 6,2 °С (см. табл. 1.2.3). Зима 2018/19 г. в районе моря Бофорта оказалась второй 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 сектора СПО (см. рис. 1.2.2 и табл. 1.2.2). Аномалия температуры воздуха в Чукотском и Аляскинском районах составила 4,8 и 5,8 °С соответственно. Весенний сезон 2019 г. в Чукотском районе стал вторым, а в Аляскинском — наиболее теплым сезоном по рангу теплых лет с 1936 г.

В районах арктических морей и на территории суши выше 70° с.ш. наблюдались преимущественно положительные аномалии температуры воздуха. Наиболее высокие значения положительной аномалии обнаруживались 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 2019 г.**

Район	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R	ΔT , °C	R
Атлантический	1,6	6	2,0	13	1,6	8	1,5	3	1,2	11
Североевропейский	1,8	10	3,2	16	2,8	7	0,0	20	1,0	18
Западно-Сибирский	3,1	4	3,4	14	4,5	6	1,7	4	2,6	8
Восточно-Сибирский	3,6	1	4,1	2	4,2	4	2,9	1	3,1	4
Чукотский	3,3	2	1,5	16	4,8	2	2,7	2	4,0	5
Аляскинский	4,3	1	5,1	4	5,8	1	1,9	2	4,3	1
Канадский	2,6	3	1,8	13	3,2	3	1,7	5	3,8	1

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2019 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 2019 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	2,1	9	2,4	16	1,8	10	1,9	4	2,2	9
Баренцево море	2,2	11	3,9	16	3,0	7	0,2	18	1,6	15
Карское море	3,8	6	4,7	15	4,8	8	1,6	6	4,0	10
Море Лаптевых	3,9	1	3,4	7	4,4	7	3,2	1	4,7	3
Восточно-Сибирское море	3,3	2	1,4	15	4,4	4	3,1	2	4,5	5
Чукотское море	4,3	2	3,1	9	5,7	1	3,2	2	5,1	3
Море Бофорта	4,5	1	6,2	2	6,2	1	0,2	19	5,5	2
Северная часть Канадского района	3,0	2	1,6	15	3,3	4	2,3	2	4,8	1

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2019 гг.

В летнем сезоне основная область крупных положительных аномалий температуры воздуха располагалась в азиатском секторе (см. рис. 1.2.2, табл. 1.2.2). Аномалия температуры в Восточно-Сибирском районе составила 2,9 °C, и это наибольшее значение с 1936 г.

В северной части Канадского района и на большей части прибрежной зоны Гренландии наблюдались отрицательные аномалии температуры воздуха. В районах морей евразийского сектора отмечались положительные аномалии температуры. Наиболее высокие значения были зафиксированы в районе моря Лаптевых, где осредненная аномалия составила 2,5 °C (см. табл. 1.2.3). Это наибольшее значение с 1936 г.

В осеннем сезоне на станциях СПО наиболее крупные аномалии температуры воздуха прослеживались в восточной части азиатского сектора и в североамериканском секторе СПО. Значения пространственно осредненной по территории Чукотского, Аляскинского и Канадского районов аномалии температуры воздуха со-

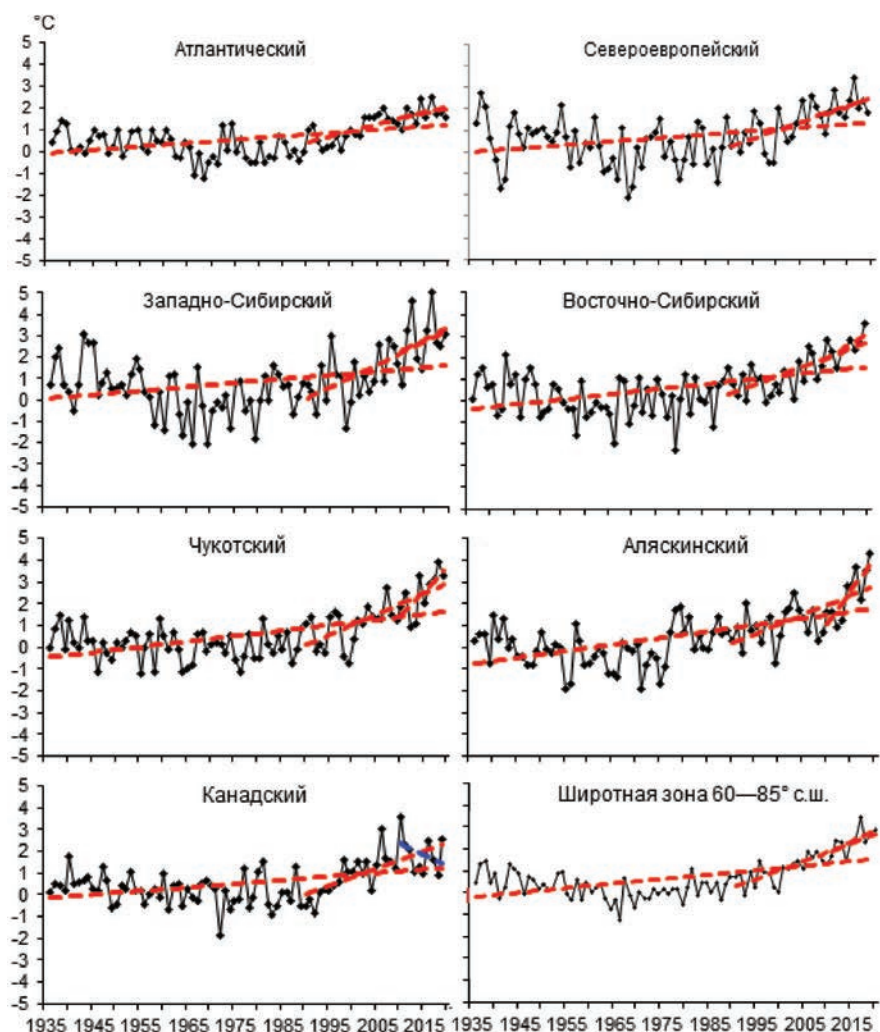


Рис. 1.2.3. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60—85° с.ш.

ставили 4,0; 4,3 и 3,8 °С. Осенний сезон 2019 г. в Чукотском районе стал пятым, а в Аляскинском и Канадском районах — первым теплым сезоном по рангу теплых лет.

На акватории арктических морей наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха имели место в притихоокеанском секторе. В районе Чукотского моря и моря Бофорта, а также в северной части Канадского района аномалия температуры на станциях составляла 3—6 °С. Аномалия температуры воздуха, пространственно осредненная по району Чукотского моря, моря Бофорта и северной части Канадского района составила 5,1; 5,5 и 4,8 °С. Осень 2019 г. в северной части Канадского района стала наиболее теплой осенью по рангу теплых лет с 1936 г.

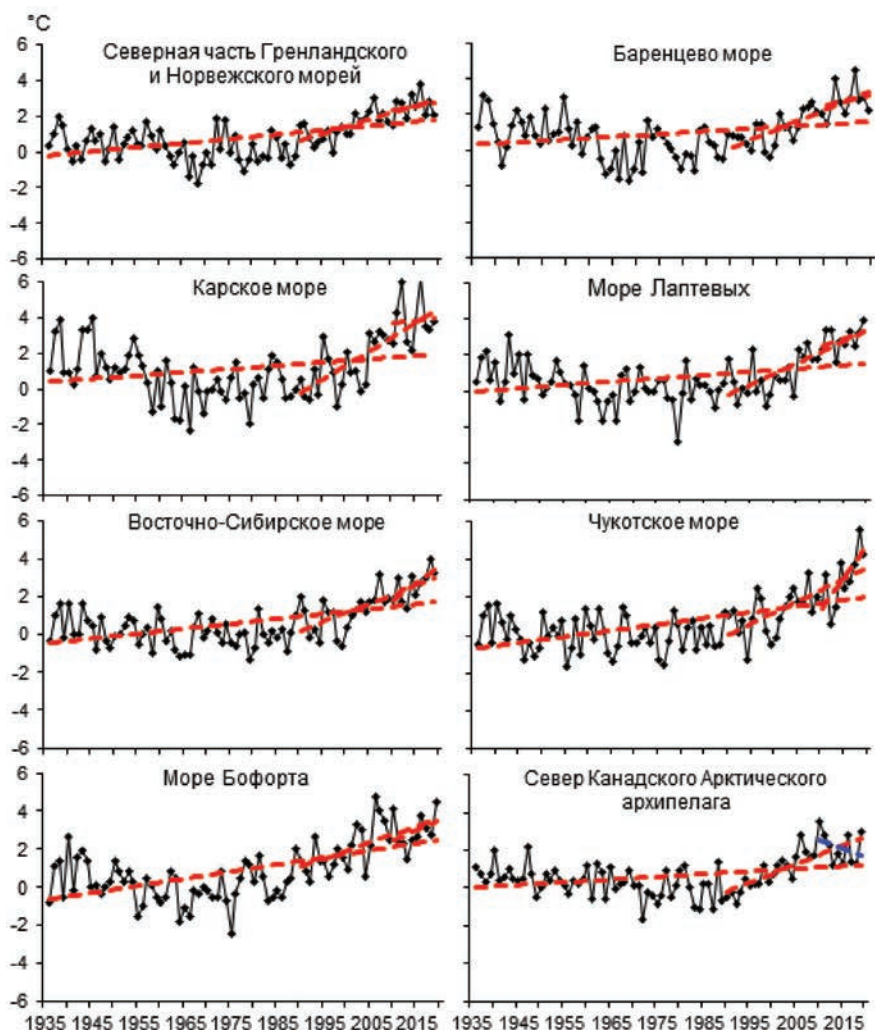


Рис. 1.2.4. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей.

Временные ряды пространственно осредненной по территории климатических районов аномалии 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—2019 гг. наблюдается статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры для широтных зон 70—85 и 60—70° с.ш., а также в целом для СПО. Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 84 года составило 1,85; 1,60 и 1,68 °С соответственно. Для отдельных климатических районов значимый тренд в ходе среднегодовой температуры воздуха прослеживается во всех районах. Потепление за 84 года составляет в разных районах от 1,34 до 2,52 °С.

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—2019 гг.										
Атлантический	0,23	40,7	0,16	43,7	0,12	46,0	0,12	32,8	0,16	47,2
Североевропейский	0,15	14,1	0,30	44,8	0,10	25,8	0,10	19,2	0,16	34,0
Западно-Сибирский	0,13	11,4	0,34	37,8	0,13	35,5	0,12	16,4	0,18	31,5
Восточно-Сибирский	0,26	33,2	0,36	47,0	0,15	41,9	0,17	25,0	0,24	49,6
Чукотский	0,18	24,3	0,32	44,8	0,21	58,4	0,31	46,1	0,26	56,0
Аляскинский	0,46	49,8	0,31	39,4	0,18	54,3	0,23	33,8	0,30	60,2
Канадский	0,25	34,3	0,10	17,7	0,12	42,1	0,21	40,3	0,17	43,7
70—85°с.ш.	0,23	36,1	0,28	52,9	0,14	55,3	0,21	38,3	0,22	49,8
60—70°с.ш.	0,23	45,4	0,25	54,9	0,15	61,8	0,14	39,6	0,19	60,2
60—85°с.ш.	0,24	45,5	0,26	55,3	0,14	58,7	0,17	42,0	0,20	56,7
1990—2019 гг.										
Атлантический	0,90	67,9	0,44	49,3	0,34	53,7	0,59	71,2	0,57	75,5
Североевропейский	0,94	39,3	0,60	37,5	0,40	45,0	1,07	62,7	0,75	67,7
Западно-Сибирский	1,62	52,0	0,88	35,8	0,47	43,3	1,31	56,5	1,07	64,7
Восточно-Сибирский	0,63	32,9	1,10	53,7	0,50	49,7	1,01	62,0	0,81	73,9
Чукотский	1,39	58,1	0,82	42,2	0,43	45,7	1,14	63,3	0,95	72,4
Аляскинский	1,54	62,0	0,43	22,0	0,18	20,2	1,25	68,2	0,85	66,5
Канадский	1,38	69,2	0,51	35,1	0,48	57,3	0,72	53,0	0,77	68,1
70—85°с.ш.	1,72	85,1	0,86	64,1	0,43	64,8	1,31	88,4	1,08	89,8
60—70°с.ш.	0,76	57,5	0,54	47,7	0,36	62,5	0,73	72,4	0,60	77,8
60—85°с.ш.	1,20	80,0	0,65	56,3	0,39	66,7	1,00	84,7	0,81	85,0
2010—2019 гг.										
Атлантический	0,40	17,9	−0,08	4,6	−0,08	5,2	0,50	23,1	0,19	27,4
Североевропейский	4,27	63,7	−0,64	13,0	−0,28	9,3	−0,49	17,2	0,72	34,6
Западно-Сибирский	4,79	47,3	−1,30	18,7	1,13	29,9	−0,32	08,3	1,08	25,4
Восточно-Сибирский	3,67	62,4	0,75	14,3	0,24	9,7	0,58	20,0	1,31	66,0
Чукотский	3,11	42,2	2,82	52,9	1,07	46,4	1,75	43,7	2,19	69,2
Аляскинский	5,27	74,2	4,92	69,2	0,99	49,7	1,87	73,1	3,26	82,7
Канадский	−2,10	45,5	−0,65	15,6	−1,04	45,3	−1,02	26,4	−1,20	36,6
70—85°с.ш.	1,79	47,9	0,64	23,4	−0,10	6,3	0,55	24,7	0,72	55,2
60—70°с.ш.	3,36	78,0	1,10	34,1	0,53	44,4	0,26	23,6	1,31	74,4
60—85°с.ш.	2,70	72,6	0,75	24,9	0,25	22,2	0,38	26,9	1,02	60,9

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

Таблица 1.2.5

Коэффициент линейного тренда Bx ($^{\circ}\text{C}/10$ 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—2019 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,32	37,4	0,25	48,2	0,19	61,7	0,19	36,7	0,24	52,2
Баренцево море	0,11	10,7	0,26	39,1	0,10	28,2	0,14	23,6	0,15	28,9
Карское море	0,12	8,8	0,35	36,8	0,10	28,0	0,18	19,5	0,19	26,3
Море Лаптевых	0,12	15,8	0,30	39,3	0,13	34,1	0,16	20,5	0,18	13,0
Восточно-Сибирское море	0,24	35,6	0,32	42,8	0,19	48,7	0,29	39,7	0,26	54,2
Чукотское море	0,37	38,2	0,36	41,9	0,22	55,1	0,33	46,9	0,32	55,9
Море Бофорта	0,53	57,7	0,25	42,7	0,13	40,3	0,30	45,8	0,30	60,0
Северная часть Канадского района	0,19	23,4	0,10	15,6	0,08	22,1	0,21	38,8	0,15	34,6
1990—2019 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,46	67,0	0,45	36,3	0,36	51,6	0,81	70,3	0,77	75,3
Баренцево море	1,66	65,4	0,75	45,4	0,41	42,7	1,30	77,3	1,03	78,2
Карское море	2,60	67,3	1,17	44,3	0,54	56,8	1,99	71,9	1,58	75,7
Море Лаптевых	1,24	60,1	1,19	54,5	0,58	48,4	1,69	76,7	1,18	77,1
Восточно-Сибирское море	1,21	61,9	0,93	45,2	0,47	43,4	1,28	63,9	0,97	72,8
Чукотское море	2,12	70,6	0,78	34,4	0,47	43,2	1,48	70,6	1,21	70,7
Море Бофорта	1,86	74,7	0,39	24,7	0,10	10,3	1,49	78,0	0,96	62,4
Северная часть Канадского района	1,67	76,9	0,74	52,3	0,56	47,8	0,90	60,2	0,97	78,3
2010—2019 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	-0,13	03,1	0,13	5,5	-0,11	5,7	1,07	40,8	0,24	20,2
Баренцево море	2,41	39,4	-0,61	13,5	0,29	9,0	-0,08	-2,4	0,50	20,8
Карское море	2,68	29,3	-2,85	42,0	0,32	9,6	-0,07	-1,4	0,02	6,2
Море Лаптевых	1,79	37,3	0,13	2,6	-0,15	4,9	0,92	25,0	0,67	36,6
Восточно-Сибирское море	1,70	29,6	2,13	39,4	0,90	42,8	3,05	71,0	1,95	66,3
Чукотское море	4,32	48,7	4,52	67,7	2,25	84,7	3,41	65,1	3,63	72,6
Море Бофорта	4,90	73,1	2,20	49,3	-2,39	76,2	2,10	57,1	1,70	35,0
Северная часть Канадского района	-2,15	43,3	-0,81	22,2	-1,05	27,2	-0,08	-1,8	-1,02	33,0

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

В ходе средней сезонной температуры воздуха СПО значимый тренд обнаруживается во всех сезонах. Наибольшее линейное повышение температуры наблюдается в широтной зоне 70—85 °с.ш. в весеннем сезоне и составляет 2,35 °С за 84 года.

В течение последних тридцати лет (1990—2019 гг.) температура воздуха повышалась во всех районах СПО. В целом для СПО линейное повышение среднегодовой температуры за 30 лет составило около 2,43 °С. В широтной зоне к северу от 70° с.ш. продолжает сохраняться более высокая скорость потепления (1,08 °С/10 лет по сравнению с 0,60 °С/10 лет к югу от 70° с.ш.). В основном это происходит за счет более быстрого повышения температуры в зимнем и осеннем сезонах к северу от 70° с.ш.: 1,72 и 1,31 °С/10 лет соответственно.

За последний десятилетний период в СПО наиболее заметное повышение температуры наблюдалось в зимнем сезоне.

В районах арктических морей в период 1936—2019 гг. знак тренда среднегодовой температуры воздуха всюду положительный. Наиболее высокими темпами повышение температуры происходит в районах приатлантического и притихоокеанского секторов. Линейное повышение среднегодовой температуры воздуха в северной части Гренландского и Норвежского морей, а также в районах морей Чукотского и Бофорта составило около 2,02; 2,69 и 2,52 °С за 84 года.

За последний 30-летний период статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) линейный тренд в ходе среднегодовой температуры прослеживается во всех районах арктических морей: потепление там за эти тридцать лет составило от 2,31 °С (северная часть Гренландского и Норвежского морей) до 4,74 °С (Карское море).

Атмосферные осадки

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

В табл. 1.2.6 представлены относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2018—2019 г. для СПО и для отдельных климатических районов. В целом по региону годовая сумма осадков была около нормы. В холодном сезоне к северу от 70° с.ш. осадков выпало выше нормы на 15,9 %. Это седьмое значение в ряду убывающих значений с 1936 г. В теплом сезоне как к северу, так и к югу осадков выпало на 3 % выше нормы. В отдельных районах малое количество осадков за год выпало в Атлантическом (на 11,5 % ниже нормы), а также в Восточно-Сибирском и Чукотском (на 13,4 % ниже нормы). Наибольшее количество осадков за год наблюдалось в Западно-Сибирском районе (на 20,3 % выше нормы). Это второе значение в ряду убывающих значений с 1936 г.

Таблица 1.2.6

**Относительные аномалии (%) сезонных и годовых сумм осадков
в 2018—2019 гг.**

Климатический район, широтная зона	Холодный период	Теплый период	Год
Атлантический	84,3	98,0	88,5
Североевропейский	119,5	104,5	113,0
Западно-Сибирский	127,7	112,3	120,3
Восточно-Сибирский	92,2	81,7	86,6
Чукотский	90,9	81,1	86,6
Аляскинский	119,7	113,1	116,1
Канадский	80,3	111,6	96,5
70—85° с.ш.	115,9	103,2	110,2
60—70° с.ш.	99,0	102,6	100,6
60—85° с.ш.	99,4	100,6	99,9

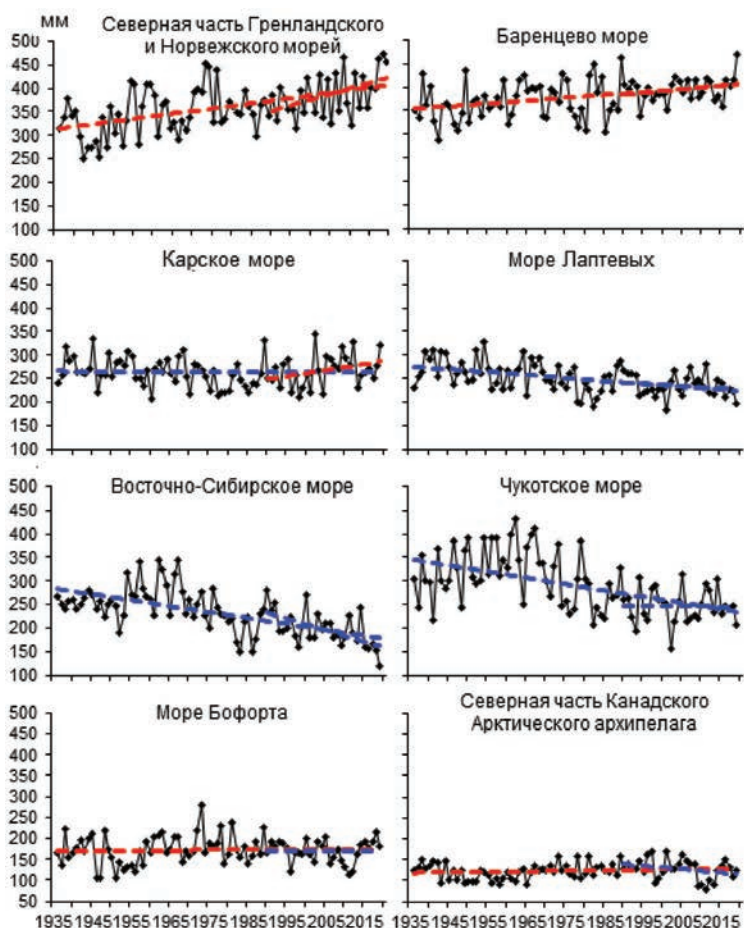


Рис. 1.2.5. Временные ряды годовой суммы осадков.

На рис. 1.2.5 приведены временные ряды годовых сумм осадков для районов арктических морей. В табл. 1.2.7 представлены оценки трендов в изменении сезонных и годовых сумм осадков с 1936 по 2019 г. по северным (70° — 85° с.ш.) и южным (60° — 70° с.ш.) частям климатических районов, а также для районов в целом.

В межгодовых изменениях годовых сумм осадков за период 1936—2019 гг. в СПО наблюдается сохранение тенденции статистически значимого их увеличения. Годовые суммы осадков за 84 года возросли на 4,5 % по сравнению с нормой за 1961—1990 гг. Однако рост годовых сумм осадков в СПО полностью обеспечен их устойчивым увеличением в широтной зоне к югу от 70° с.ш. (на 10,4 % нормы). Здесь, в южных частях Северо-европейского и Западно-Сибирского районов, а также в южной части Канадского Арктического архипелага рост годовых сумм осадков составил от 4 до 29 % нормы.

В районах арктических морей сохраняется тенденция статистически значимого уменьшения годовых сумм осадков в морях азиатского сектора СПО (Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском). Уменьшение годовых сумм осадков за весь период составляет от 22 % нормы за 1961—1990 гг. (район моря Лаптевых) до 45 % нормы (район Восточно-Сибирского моря).

Коэффициенты линейного тренда Bx (мм/10 лет) сезонных и годовых сумм осадков за период 1936—2019 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	5,25	5,2	-0,76	-2,3	4,49	4,1
Североевропейский (южная часть)	13,97	38,6	2,58	10,3	16,55	28,7
Западно-Сибирский (южная часть)	8,99	28,0	-0,80	-7,9	8,19	16,9
Восточно-Сибирский (южная часть)	2,40	13,5	-0,57	-1,0	1,83	5,2
Чукотский (южная часть)	0,21	0,8	-0,28	-2,6	-0,07	-0,2
Аляскинский (южная часть)	3,53	17,5	-0,59	-0,2	2,94	7,6
Канадский (южная часть)	-0,49	-3,0	2,13	15,6	1,64	6,1
60—70°с.ш.	5,03	14,1	0,27	1,1	5,30	10,4
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	10,24	36,5	0,84	4,3	10,08	26,0
Баренцево море	6,89	25,6	-0,50	-3,2	6,39	14,1
Карское море	0,45	2,9	-0,74	-6,6	-0,29	-0,9
Море Лаптевых	-3,06	-21,1	-3,32	-20,7	-6,38	-21,6
Восточно-Сибирское море	-7,31	-49,0	-5,75	-38,9	-13,06	-45,3
Чукотское море	-8,89	-42,7	-4,73	-28,7	-13,62	-37,5
Море Бофорта	-0,70	-6,1	1,43	11,8	0,73	3,3
Канадский (северная часть)	0,41	5,7	0,61	7,1	1,02	6,8
70—85°с.ш.	1,69	10,3	-0,79	-6,3	0,90	3,0
Атлантический	6,95	9,1	-0,36	-1,3	6,59	4,5
Североевропейский	11,11	34,1	1,13	6,6	12,24	18,7
Западно-Сибирский	5,39	21,4	-0,95	-7,6	4,44	7,2
Восточно-Сибирский	0,31	1,9	-1,39	-7,2	-1,08	-2,8
Чукотский	-2,79	-12,3	-2,03	-14,9	-4,62	-10,6
Аляскинский	1,90	10,7	-1,60	-6,0	0,30	0,7
Канадский	-0,14	-1,1	1,46	13,8	1,32	3,9
60—85°с.ш.	3,30	11,3	-0,51	-2,3	2,79	4,5

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

Относительно вклада в годовую сумму осадков теплого и холодного сезона можно отметить следующее. Рост годовых сумм осадков в СПО полностью обеспечивается увеличением количества осадков в холодном сезоне. В целом по СПО в холодный сезон количество осадков возросло на 11 % в основном за счет широтной зоны 60—70 °с.ш. (здесь прирост составил 14 %, а к северу от 70 °с.ш. — только 10 %). На всей же территории СПО количество осадков в холодный период года уменьшилось лишь в Чукотском районе (на 12 %).

В теплый сезон количество осадков в СПО за период 1936—2019 гг. уменьшилось в целом по региону на 2 %. К северу от 70° с.ш. уменьшение составило 6 %, и лишь к югу от 70° с.ш. наблюдается слабый рост количества осадков за счет южных частей Североевропейского и Канадского районов, который составляет от 10 до 14 % нормы.

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

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

ВВЕДЕНИЕ

Оценки развития ледовых условий в Северном Ледовитом океане (СЛО) в 2019 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, по данным экспедиционных исследований, проводимых в ААНИИ, на исследовательской базе «Мыс Баранова», в экспедиции «Трансарктика-2019» и при осуществлении ряда международных проектов.

Оценка квантилей распределения общей сплоченности 5 и 50 % (медиана) выполнена на основе совмещенного месячного массива ледовых карт проекта ВМО «Глобальный банк цифровых данных по морскому льду» за 1945—2004 гг. (включает данные ААНИИ за 1945—1992 гг., Балтийских ледовых служб за 1960—1979 гг., Национального ледового центра США за 1972—2004 гг., Канадской ледовой службы за 1968—1998 гг. и Японского метеорологического агентства за 1970—2006 гг.). Расчет среднемесячных значений общей сплоченности для 2019 г. выполнен на основе массива ежедневных распределений оценки общей сплоченности по алгоритму NASATEAM из архива Национального центра данных США по снегу и льду.

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

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

Для цветовой окраски карт использован стандарт ВМО (WMO/Std. 1215) для зимнего (по возрасту) и летнего (по общей сплоченности) периодов. В зонах стыковки карт ААНИИ и КЛС, НЛЦ наблюдается определенная несогласованность границ и характеристик ледовых зон вследствие ряда различий в ледовых информационных системах ААНИИ и КЛС, НЛЦ. Однако данная несогласованность несущественна для целей интерпретации ледовых условий в рамках настоящего обзора. Исходная информация доступна на сервере МЦД МЛ по адресам <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> (карты ААНИИ), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0031> (карты КЛС), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0032> (карты НЛЦ).

Для расчета аномалий ледовых параметров, включающих в себя оценки состояния припайного льда (толщина и взлом припая) 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 2019 г. (длина рядов для расчета средних многолетних значений в среднем составляет 55—60 лет).

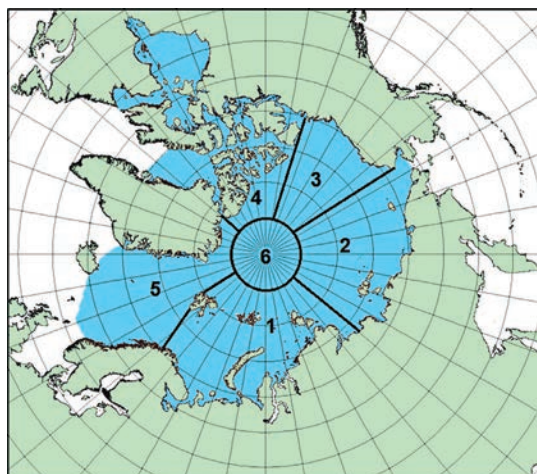


Рис. 2.В.1. Квазиоднородные районы Северного Ледовитого океана.

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

Для расчета аномалий площади льда в СЛО и его морях, аномалий интенсивности сокращения и нарастания льда в различные периоды года используются нормы, рассчитанные за весь доступный период глобальных микроволновых наблюдений за морским льдом в Северном полушарии с 1978 по 2019 г.

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

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

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

Ледообразование в осенний период в 2018 г. на начальном этапе (сентябрь — октябрь) характеризовалось низкой интенсивностью повсеместно, кроме морей Восточно-Сибирского и Бофорта, где после летнего таяния сохранялись остаточные льды.

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.

В ноябре — декабре 2018 г. интенсивность ледообразования значительно увеличилась, но в конце декабря большие участки акватории Баренцева и Карского морей, а также южной части Чукотского моря все еще оставались свободными от льда.

Количество молодых льдов, появившихся в СЛО и его морях с середины сентября по середину декабря, составило около 6,1 млн км², что на 0,8 млн км² больше среднего многолетнего значения (16 %).

В конце декабря 2018 г. в морях Карском, Чукотском и Бофорта преобладали однолетние тонкие льды. Большое количество молодых льдов наблюдалось в Баренцевом, Карском и Чукотском морях. Небольшое количество остаточных льдов сохранилось в центральной части Восточно-Сибирского моря в виде вытянутого языка. Основная масса старых льдов в СЛО была смещена в приполюсный район, в гренландский и канадский секторы Арктики.

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.

Таким образом, в осенний период 2018 г. наблюдалось интенсивное увеличение площади распространения льдов (на 16 % больше нормы), притом что толщина льда возрастала медленнее по сравнению с нормой. Осенние процессы нарастания ледяного покрова привели к существенному уменьшению отрицательной аномалии площади льда (до –5,3 %), которая в середине сентября, на момент максимального сокращения площади ледяного покрова, составляла –25 %.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям за каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период январь — март 2019 г. приведены рис. 2.1.1 — 2.1.9.

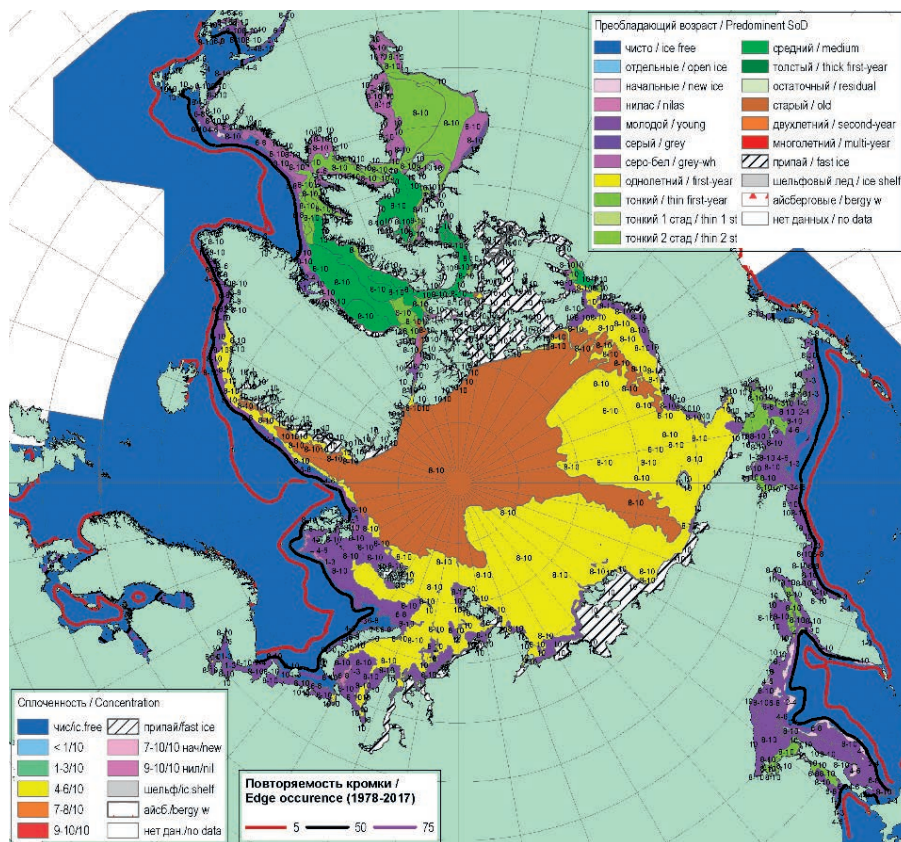


Рис. 2.1.1. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 18—22 января 2018 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

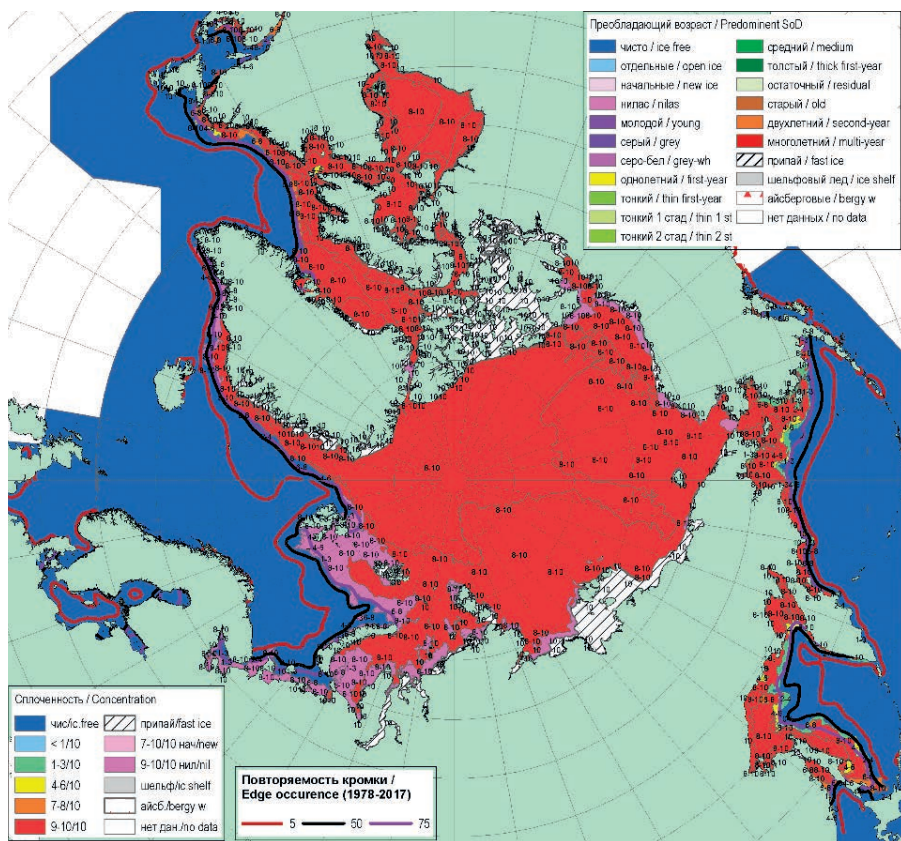


Рис. 2.1.2. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 19—22 января 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

На рис. 2.1.1 приведено распределение льда по возрасту на середину января, а на рис. 2.1.2 — распределение льда по сплоченности.

Позднее начало ледообразования в осенний период и невысокая интенсивность нарастания льда привели к отставанию в развитии возрастного состава ледяного покрова. Это проявилось во всех арктических морях, особенно в Баренцевом, Карском и Чукотском. В середине января в этих морях преобладали молодые и однолетние тонкие льды (диапазон толщины 30—70 см). Только в северных и центральных частях морей Лаптевых и Восточно-Сибирском уже преобладали однолетние средние льды (диапазон толщины 70—120 см).

Появления однолетних толстых льдов (толщиной более 120 см) не наблюдалось даже у границы старых льдов, к северу от широты 85° с.ш., что также свидетельствует о низкой интенсивности нарастания ледяного покрова по толщине.

Протяженные отроги двухлетних льдов сохранялись в центральных частях морей Восточно-Сибирского и Бофорта.

Становление припая вдоль арктического побережья всех арктических морей и в их проливах происходило крайне медленно. Припай установился и хорошо развивался в районе Новосибирских островов, а также в проливах островов Канадского Арктического архипелага (см. рис. 2.1.1).

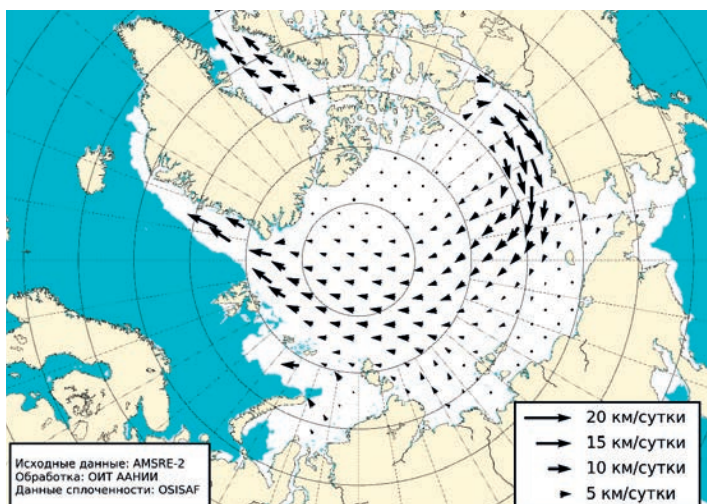


Рис. 2.1.3. Поле скорости результирующего дрейфа льда в январе 2019 г.

Поле сплоченности льда было достаточно однородным. Преобладали сплоченные льды (сплоченность 9—10 баллов). Граница дрейфующих льдов в Гренландском и Баренцевом морях была близка к своему среднему многолетнему положению для января (см. рис. 2.1.2).

В январе была хорошо развита только одна структура дрейфа льда — Канадский антициклонический круговорот, который гигантским вихрем охватил всю акваторию СЛО. Центр этого гигантского круговорота располагался на востоке канадского сектора Арктики. Трансарктический перенос льдов практически отсутствовал. Наблюдался лишь незначительный вынос льдов из северной части Карского моря и западной части моря Лаптевых в приполюсный район. Далее этот поток дрейфующего льда соединялся с периферией гигантского антициклонического круговорота. Большая часть потока по периферии круговорота выносилась в пролив Фрама. Однако основная масса льдов поворачивала вдоль северного побережья Гренландии и далее дрейфовала вдоль побережья Канадского Арктического архипелага. Необходимо отметить, что скорость дрейфа у побережья островов архипелага значительно уменьшалась (рис. 2.1.3).

В феврале наблюдалось дальнейшее увеличение толщины льда. В СЛО появились однолетние толстые льды в количестве, сопоставимом с количеством однолетних средних и тонких льдов. Однолетние толстые льды заместили однолетние средние льды в зонах, примыкающих к старым льдам, а также в северной и центральной части морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и в Чукотском море. В остальных морях преобладали однолетние средние и тонкие льды за исключением Баренцева моря, где преобладали однолетние тонкие и молодые льды. Язык двухлетних льдов сохранялся в центральной части Восточно-Сибирского моря.

Припай во всех арктических морях был развит меньше своего среднего многолетнего значения. Отсутствовал припай в проливе Вилькицкого и на восточных подходах к нему со стороны моря Лаптевых. Наблюдался хорошо развитый припай в районе Новосибирских островов и в районе островов Канадского Арктического архипелага. Заприпайные полыньи наблюдались практически во всех морях, но развитие их было незначительным.

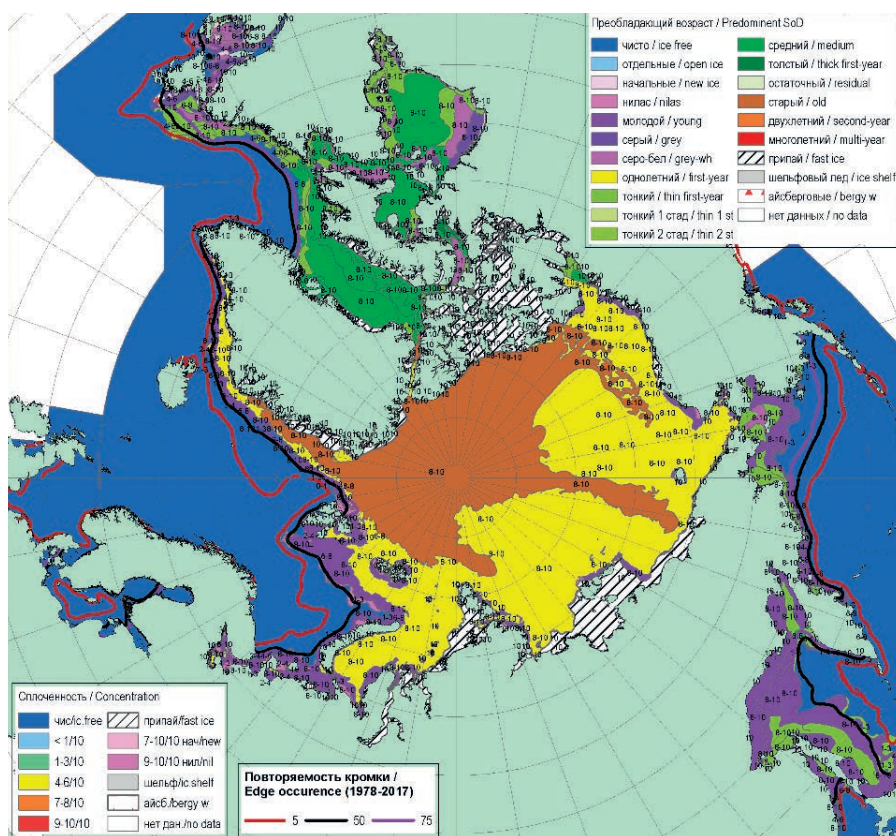


Рис. 2.1.4. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 14—19 февраля 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

На акватории всех российских арктических морей и в море Бофорта наблюдались льды всех возрастных категорий — от преобладающих молодых льдов в морях Баренцевом и Чукотском до преобладающих однолетних средних и толстых льдов в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. Основной массив старых льдов в СЛО был смещен в гренландский и канадский секторы Арктики и приполюсный район (рис 2.1.4).

Поле сплоченности льда было достаточно однородным. Преобладали сплоченные льды (сплоченность 9—10 баллов). Границы дрейфующих льдов в западном районе Арктики, в морях Гренландском и Баренцевом были близки к своему среднему многолетнему положению для февраля (рис. 2.1.5).

В связи с существенной перестройкой крупномасштабных атмосферных процессов от меридиональной к зональной циркуляции кардинально изменилось поле дрейфа ледяного покрова.

Над морями Карским и Лаптевых сформировался локальный циклонический круговорот льдов. Получил хорошее развитие Трансарктический перенос льда, который был значительно смещен на восток от своего обычного положения. Перенос начинался в северных частях морей Восточно-Сибирского и Чукотского. Далее через приполюсный район льды выносило в пролив Фрама.

Канадский антициклонический круговорот был развит крайне слабо и наблюдался в виде небольшого круговорота в море Бофорта (рис. 2.1.6).

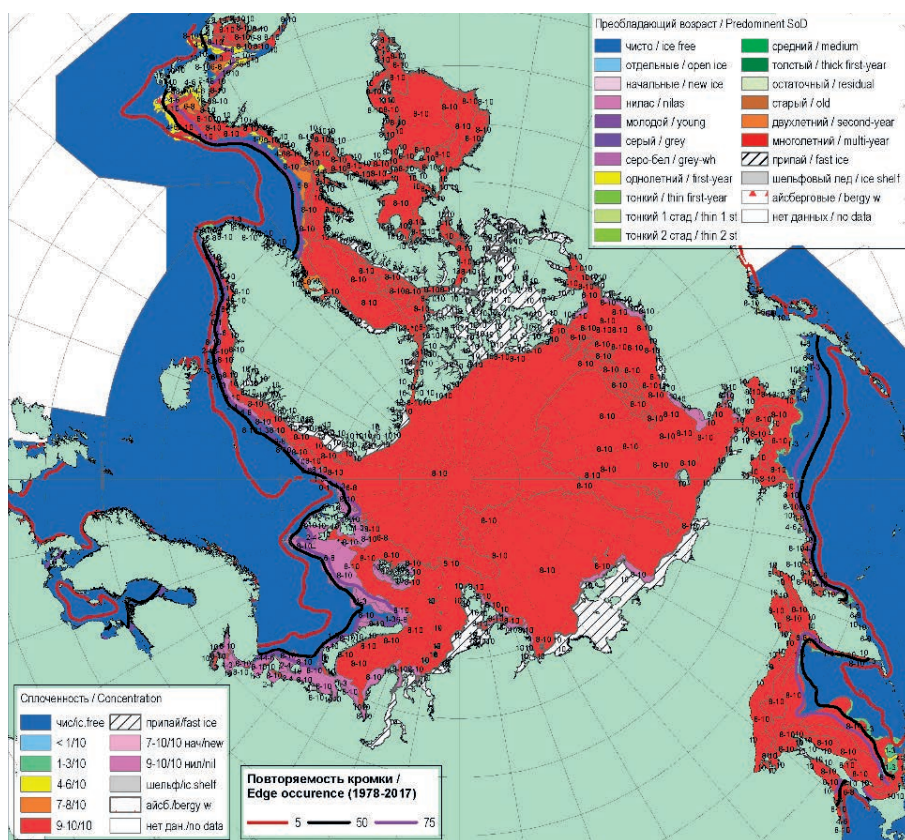


Рис. 2.1.5. Обзорная ледовая карта СЛЮ по сплоченности льда за 14—19 февраля 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

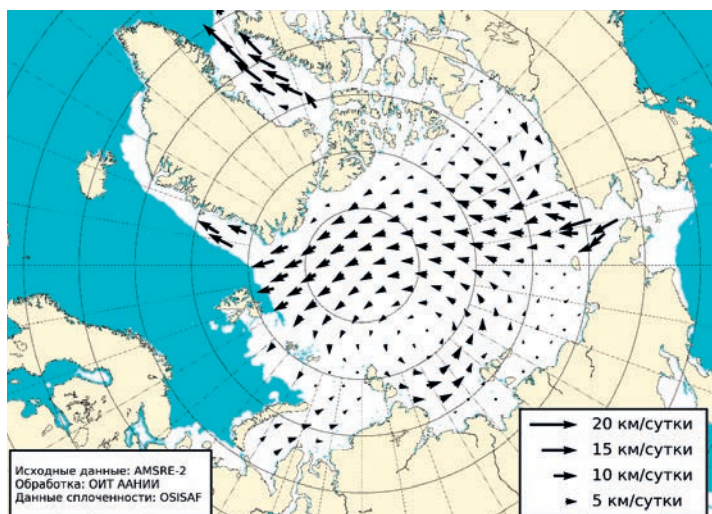


Рис. 2.1.6. Поле скорости результирующего дрейфа льда в феврале 2019 г.

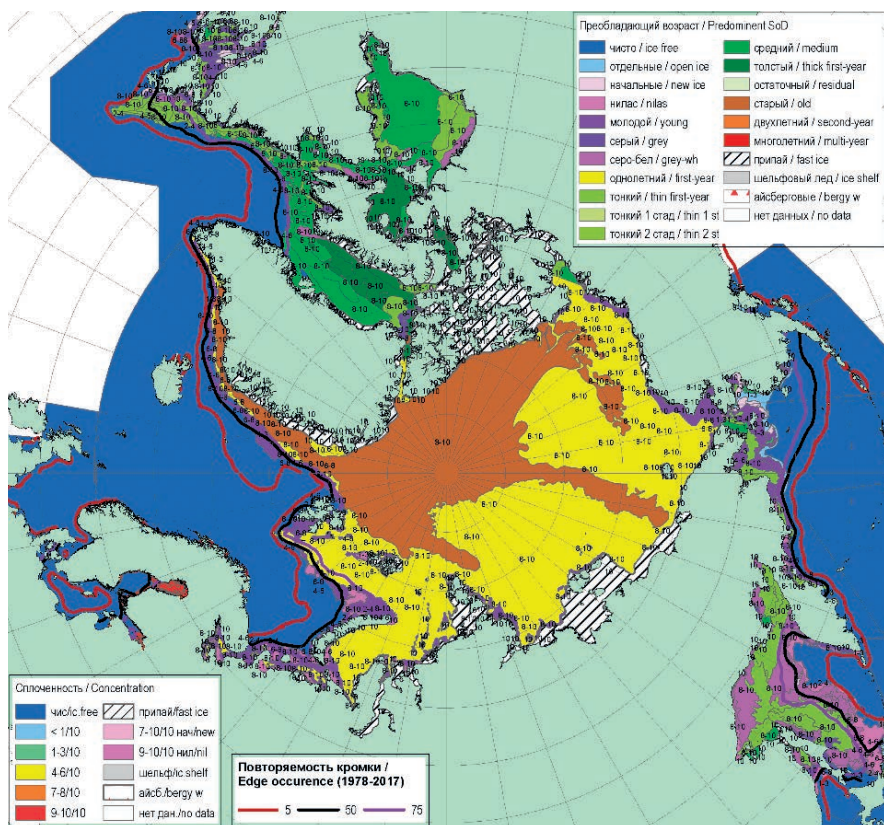


Рис. 2.1.7. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 16—20 марта 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

В марте наблюдалось дальнейшее нарастание и развитие ледяного покрова, но происходило оно с низкой интенсивностью. Об этом свидетельствуют медленное распространение однолетних толстых льдов в арктических морях и толщина льда, измеренная на полярных станциях. Границы однолетних толстых льдов в морях российского сектора Арктики несколько расширились по сравнению с февралем, но незначительно. В марте однолетние толстые льды должны, как правило, занимать акваторию большинства арктических морей, но этого в 2019 г. не наблюдалось. Однолетних толстых льдов не наблюдалось в Карском море, в центральной и южной частях морей Лаптевых и Чукотского. Однолетние толстые льды занимали большую часть акватории в морях Восточно-Сибирском и Бофорта.

В возрастном составе во всех морях российского сектора Арктики по-прежнему преобладали льды смешанного состава — всех возрастных категорий с небольшим преобладанием однолетних толстых льдов. По-прежнему было много однолетних средних и тонких льдов, а также наблюдалось большое количество молодых льдов в морях Баренцевом, Карском и Чукотском.

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).

В поле сплоченности наблюдалась большая однородность, характерная для холодных зимних месяцев, когда любая полынья или разрыв в ледяном покрове сразу по-

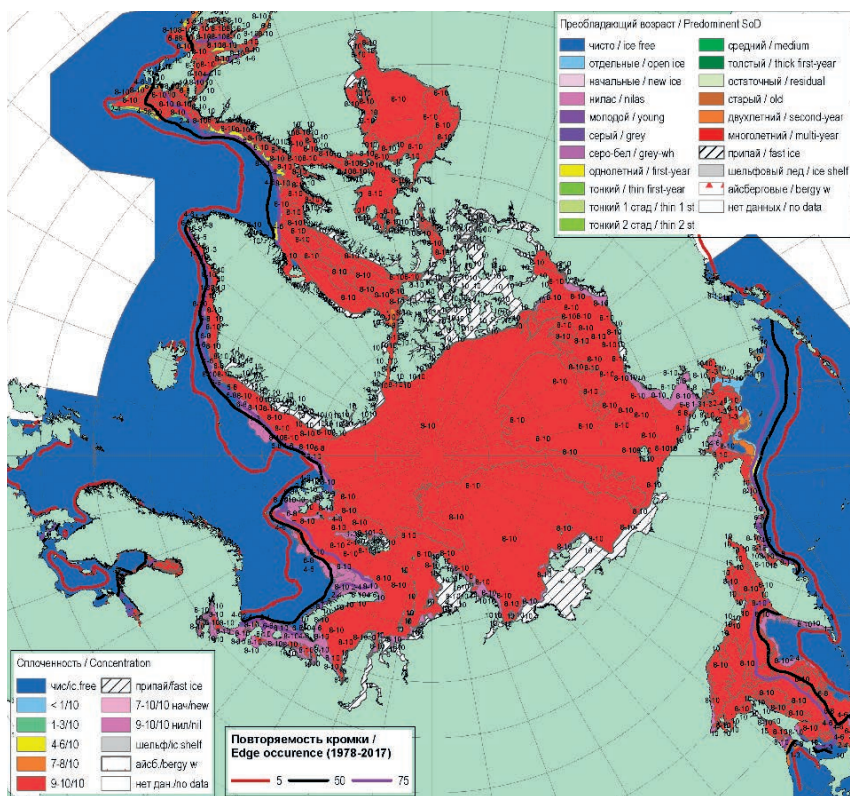


Рис. 2.1.8. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 16—20 марта 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

крывается начальными и молодыми льдами. В результате быстрого замерзания появляющихся пространств чистой воды в холодные месяцы всегда наблюдается лед сплоченностью 9—10 баллов, хотя толщина его может быть совершенно различной. Зоны молодых льдов умеренного развития хорошо прослеживаются в Баренцевом море, а также в прибрежных (заприпайных) зонах морей Карского, Чукотского и Бофорта. Границы дрейфующих льдов в западном районе Арктики, в морях Гренландском и Баренцевом были близки к своему среднему многолетнему положению для марта (рис. 2.1.8).

В марте сформировалось поле дрейфа ледяного покрова, состоящее из двух основных структур — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота.

Сам поток был хорошо развит, а его стрежень был смещен к западным арктическим морям. Трансарктический перенос льда осуществлял вынос льдов из северных частей морей Карского и Лаптевых и перенос этих льдов в пролив Фрама.

Канадский антициклонический круговорот был также хорошо развит. Его центр был смещен к северу моря Бофорта. Гигантский вихрь, занимающий половину акватории океана, выносил льды из северных частей Восточно-Сибирского и Чукотского морей и приносил льды в море Бофорта. Наблюдался очень интенсивный вынос льдов через пролив Фрама. Результирующее поле среднемесячного дрейфа за март приведено на рис. 2.1.9.

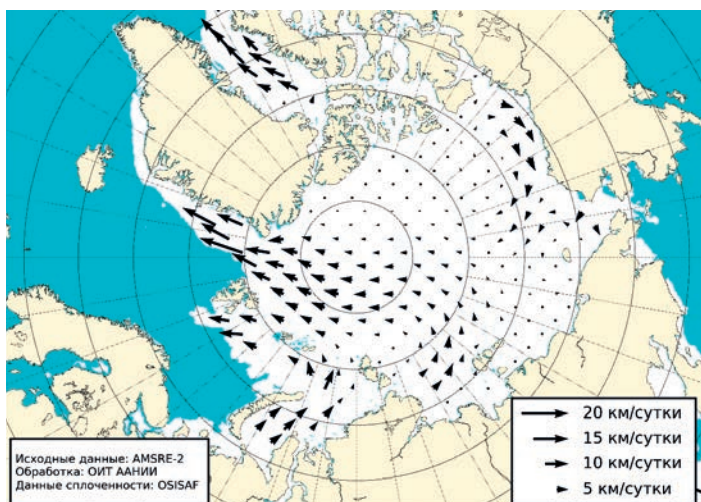


Рис. 2.1.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в марте 2019 г.

Несмотря на позднее начало ледообразования в осенний период 2018 г. толщина припайного льда по данным полярных станций зимой 2019 г. возрастала достаточно интенсивно и приблизилась к своему среднему многолетнему значению в ряде районов: северо-восточной части морей Карского, Лаптевых, западной части Восточно-Сибирского моря и юго-западной части Чукотского моря. В юго-западной части Карского моря и восточной части Восточно-Сибирского моря сформировались большие отрицательные аномалии толщины льда.

Развитие припая в морях в течение первых зимних месяцев проходило с малой интенсивностью. Площадь припая во всех российских арктических морях была меньше средних многолетних значений. В середине марта суммарная площадь припая в российских арктических морях составила 445 тыс. км² при норме 586 тыс. км², т.е. была на 24 % меньше средних многолетних значений. Слабое развитие припая наблюдалось практически во всех российских арктических морях, кроме восточной части моря Лаптевых.

Общее количество льдов в СЛО по оценкам, выполненным в ААНИИ, в конце первого квартала 2019 г. составило 11,7 млн км², т.е. было на 2,3 % меньше среднего многолетнего значения и очень близко к норме за последнее десятилетие (рис. 2.4.10 а).

Необходимо отметить, что если в начале января 2019 г. отрицательная аномалия общего количества льда в СЛО составила 5,3 %, то за первый квартал 2019 г. аномалия сократилась на 3 % и составила 2,3 %, что свидетельствует об интенсивном накоплении льда в СЛО в первом квартале года:

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

Распределение ледяного покрова по возрастным градациям и по сплоченности и поля среднемесячного дрейфа за период апрель — июнь 2019 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

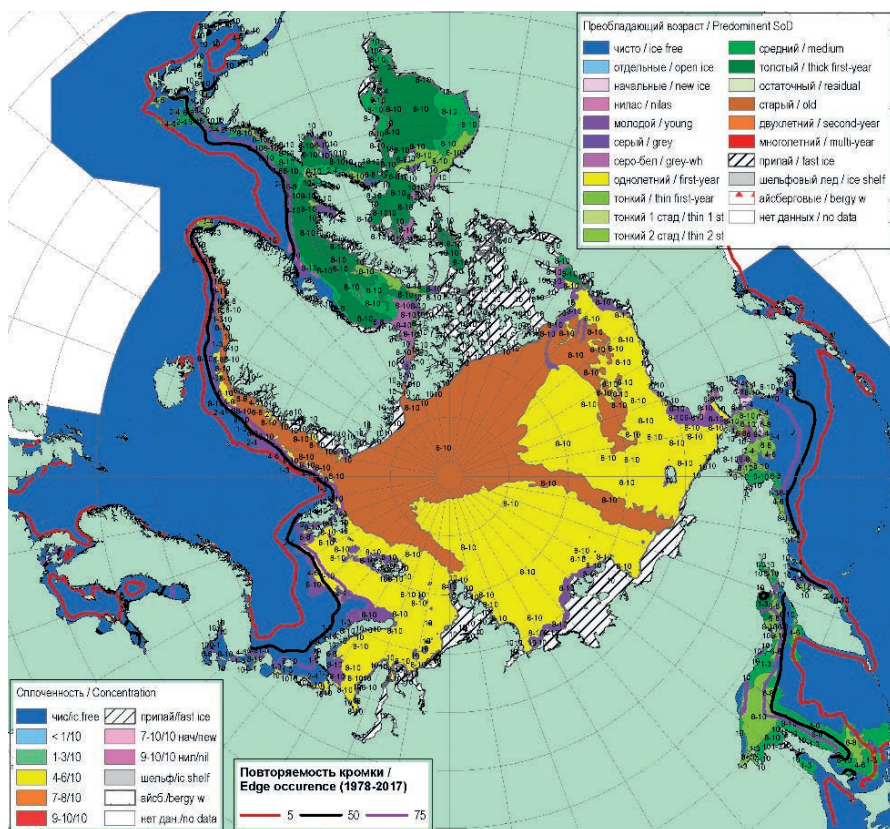


Рис. 2.2.1. Обзорная ледовая карта ЦАО по возрасту льда за 18—23 апреля 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

моря, юго-западной части Карского и Чукотского морей, сохранялось преобладание од-
нолетних средних и тонких льдов. Процесс нарастания льда в весенний период 2019 г.
происходил со значительным запаздыванием по срокам по сравнению с нормой.

Припай был хорошо развит в районе Новосибирских островов и слабо развит
в районе архипелага Северная Земля со стороны моря Лаптевых. Слабое развитие
припая вдоль восточного побережья архипелага Северная Земля было обусловлено
постоянным выносом льдов их западной части моря Лаптевых в результате дрейфа.
В апреле установился сплошной припай в проливе Вилькицкого.

Заприпайные полыньи в арктических морях были развиты слабо, они отмечались в
юго-западной части Карского моря, за припаем Новосибирских островов и в Чукотском
море. В связи с этим молодых льдов (толщиной до 30 см) наблюдалось также мало.

Старые льды наблюдались в гренландском и канадском секторах, а также в
приполюсном районе Арктики. К центральной части Восточно-Сибирского моря со-
хранялся протяженный язык двухлетних льдов (рис. 2.2.1).

В поле сплоченности ледяного покрова прослеживалась большая однород-
ность и преобладал сплоченный лед. Отчетливо обозначались заприпайные по-
лыньи, хотя они были развиты слабо. Зоны пониженной сплоченности наблюда-
лись в морях Бофорта, Чукотском и Лаптевых, откуда выносило лед в результате

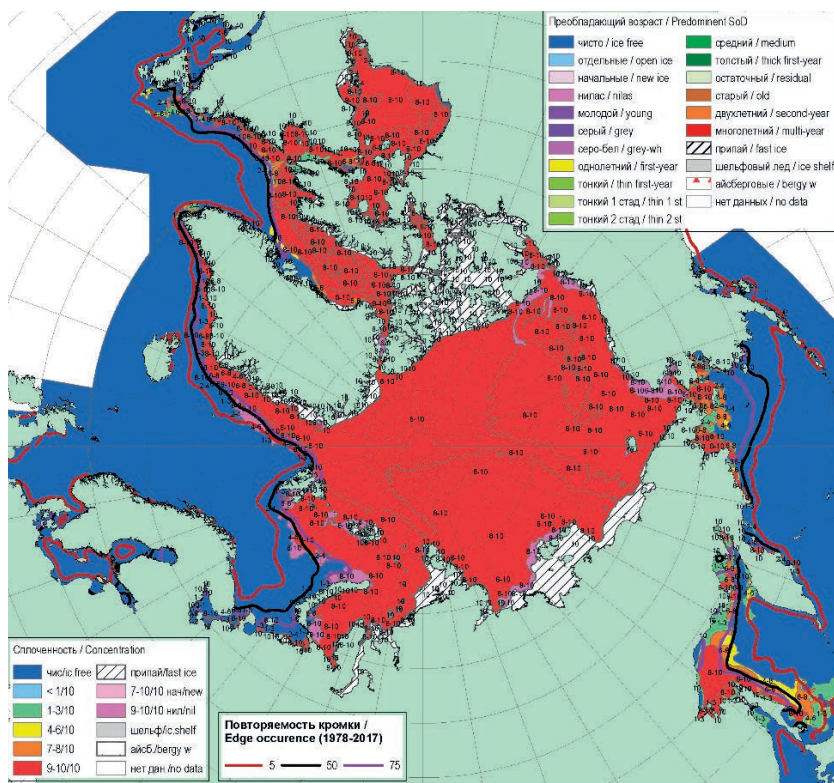


Рис. 2.2.2. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 18—23 апреля 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

Трансарктического переноса льдов, а также в Баренцевом море вследствие его малой ледовитости. Зоны повышенной сплоченности наблюдались в гринландском секторе Арктики, куда приносило лед в результате Трансарктического переноса.

Граница распространения ледяного покрова в западной части Баренцева моря и в морях Гренландском, Баффина и Лабрадор была близка к среднему многолетнему положению, а в северо-восточной и юго-восточной частях Баренцева море была близка к своему минимальному положению (рис. 2.2.2).

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

Стрежень Трансарктического переноса льдов был смещен к северной части архипелага Северная Земля. Это приводило к выносу однолетних льдов из моря Лаптевых, особенно из его западной части, в приполюсный район и препятствовало образованию устойчивого припая в североземельском районе со стороны моря Лаптевых. Далее из приполюсного района старые льды выносились к северному побережью Гренландии и в пролив Фрама.

Центр Канадского антициклонического круговорота наблюдался в своем классическом положении — над центральной частью моря Бофорта. По его периферии наблюдался перенос льдов вдоль побережья островов Канадского Арктического архипелага и далее, со значительным увеличением скорости дрейфа, вдоль аляскинского побережья в северные части Чукотского и Восточно-Сибирского морей (рис. 2.2.3).

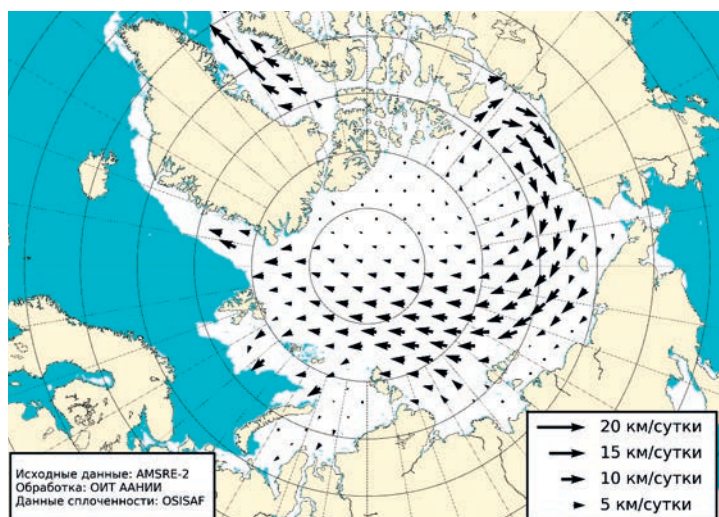


Рис. 2.2.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в апреле 2019 г.

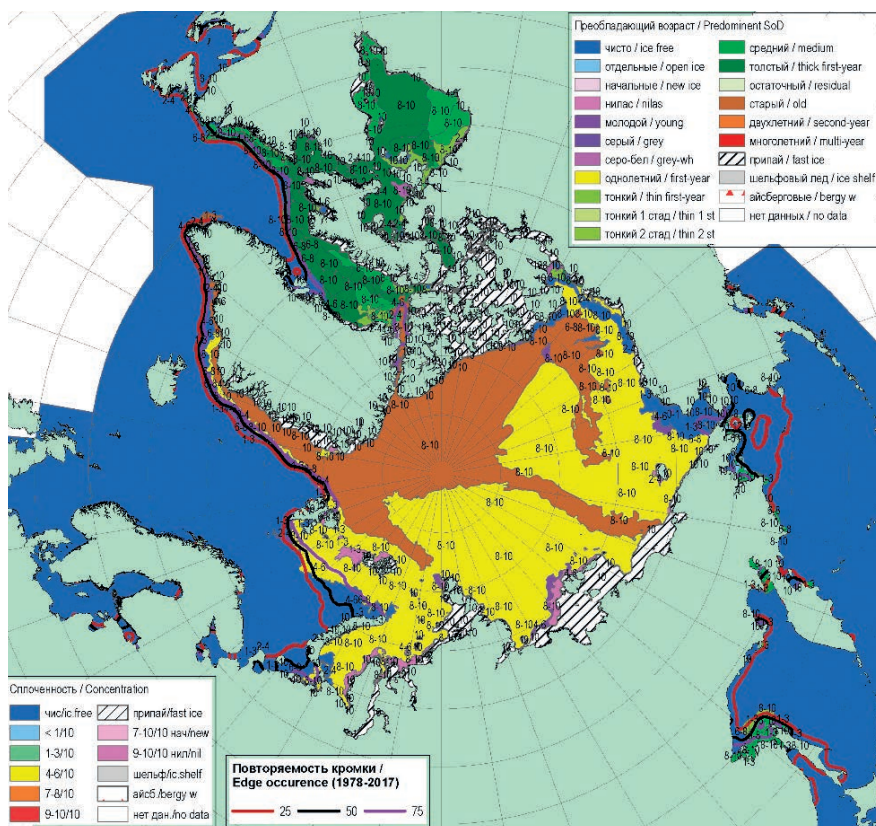


Рис. 2.2.4. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 16—21 мая 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

В течение мая, который считается периодом максимального развития и накопления ледяного покрова, в структурном составе льдов Северного Ледовитого океана преобладали однолетние льды (преимущественно однолетние толстые и средние льды), которые составляли около 60 % общего количества льда. Около 35 % общего количества льда составляли старые льды. Остальное количество льдов было представлено молодыми льдами или зонами обширных разряжений с чистой водой, которые начали формироваться во всех арктических окраинных морях, кроме Восточно-Сибирского.

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

Припай был развит слабо, меньше чем в среднем многолетнем, во всех окраинных арктических морях. Наиболее обширный припай наблюдался в районе Новосибирских островов и между островами Канадского Арктического архипелага.

В поле сплоченности ледяного покрова хорошо проявились зоны заприпайных полыней и сформировавшихся разрывов в морях Чукотском и Бофорта (рис. 2.2.5).

В мае в поле дрейфа произошли существенные изменения. Вместо наблюдавшихся в апреле двух развитых структур дрейфа — Трансарктического переноса и Канадского антициклонического круговорота — в мае сформировался хорошо развитый гигантский меридиональный перенос со стрежнем, смещенным к северной границе российских арктических морей.

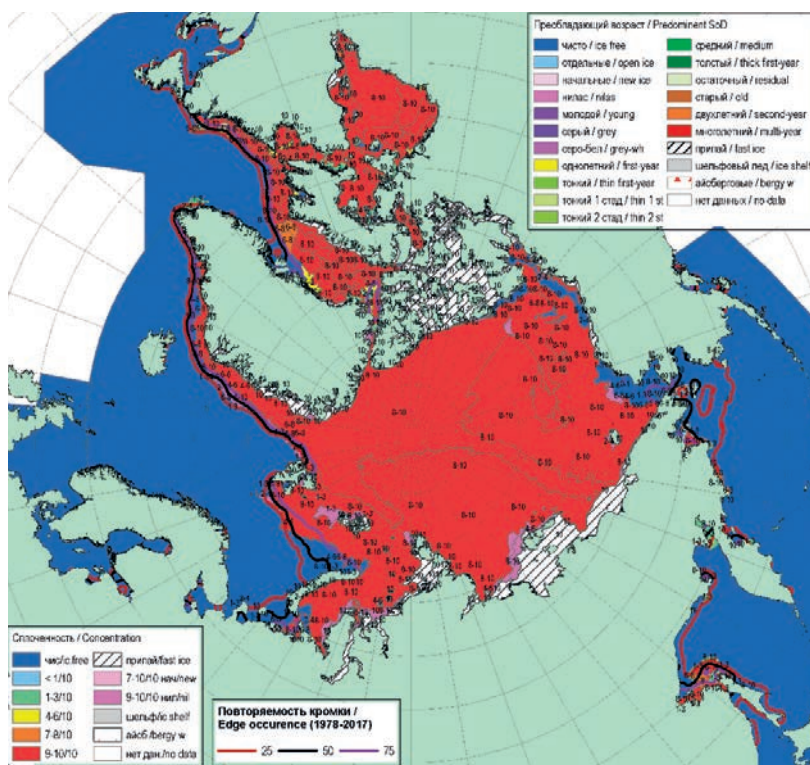


Рис. 2.2.5. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 16—21 мая 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

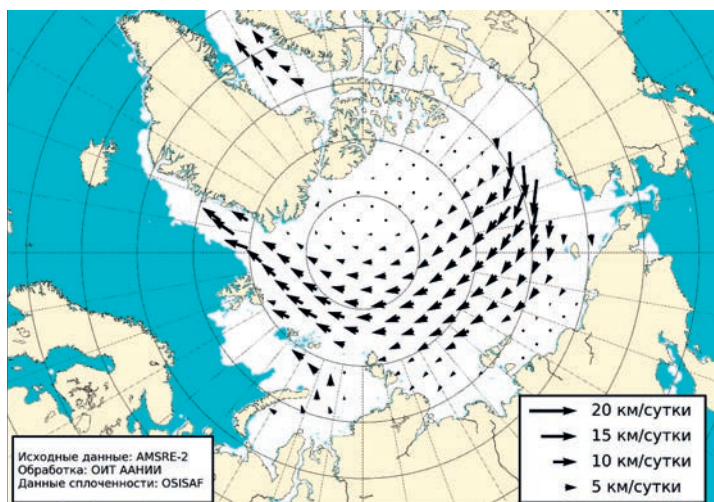


Рис. 2.2.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в мае 2019 г.

Стрежень Трансарктического переноса начинался из моря Бофорта, далее по широкой дуге в широтной зоне $75\text{—}85^\circ$ с.ш. проходил по северной границе всех российских арктических морей и затем уходил в пролив Фрама. В результате развития Трансарктического переноса из приполюсного района было вынесено большое количество старых льдов, которые были заменены однолетними льдами из северной части морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Канадский антициклонический круговорот был практически не развит.

Таким образом, развитие гигантского Трансарктического переноса обусловило вынос льда из северных частей морей Бофорта и Чукотского, в прибрежной части которых образовалось обширное разрежение (рис. 2.2.6).

В весенний период интенсивность нарастания льда была несколько выше нормы в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском, в результате чего толщина льда приблизилась к средним многолетним значениям в этих районах. Однако в морях западного района российского сектора Арктики отрицательные аномалии толщины льда сохранились и составили $-20\text{...}-40$ см. Распределение аномалии толщины льда по морям в конце периода нарастания (середина мая) приведены на рис. 2.2.7.

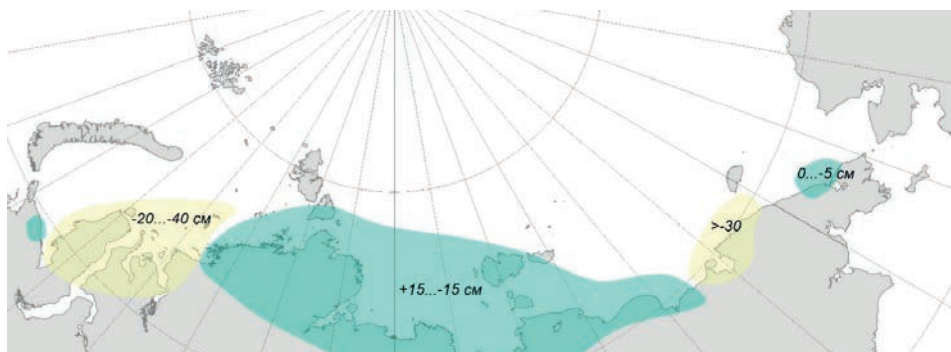


Рис. 2.2.7. Аномалии толщины льда в морях российских секторов Арктики по данным полярных станций на период максимального нарастания в 2019 г. (конец мая).

В июне началось чрезвычайно быстрое очищение окраинных морей западного и восточного районов российского сектора Арктики — Баренцева, Карского, Лаптевых и Чукотского. В этих морях сформировались крупные положительные аномалии ледовитости. В конце июня аномалии ледовитости составили: в Баренцевом море –25 %, в юго-западной части Карского моря –27 %, в море Лаптевых –17 ... –27 %, в Чукотском море –28 %. Очищение этих морей было связано в первую очередь с интенсивным дрейфом льда выносного характера, адвекцией тепла в эти районы и развитием тепловых процессов таяния и разрушения льда (рис. 2.2.8).

В возрастном составе льдов в начале активного таяния и разрушения льда преобладали однолетние толстые льды. Образование начальных и молодых льдов в окраинных морях прекратилось. Старые льды занимали не более 30 % акватории СЛО. Однолетние льды, среди которых преобладали однолетние толстые, занимали около 60—65 % акватории океана. Оставшаяся площадь приходилась на сформировавшиеся в морях разряжения и полыньи вдоль берегов.

Основными очагами очищения стали районы в северной части Баренцева моря, заприпайный район в море Лаптевых и обширное разряжение вдоль всего побережья Аляски (рис. 2.2.9).

В июне произошедшие масштабные изменения в циркуляции атмосферы привели к формированию традиционных структур дрейфа — обширного

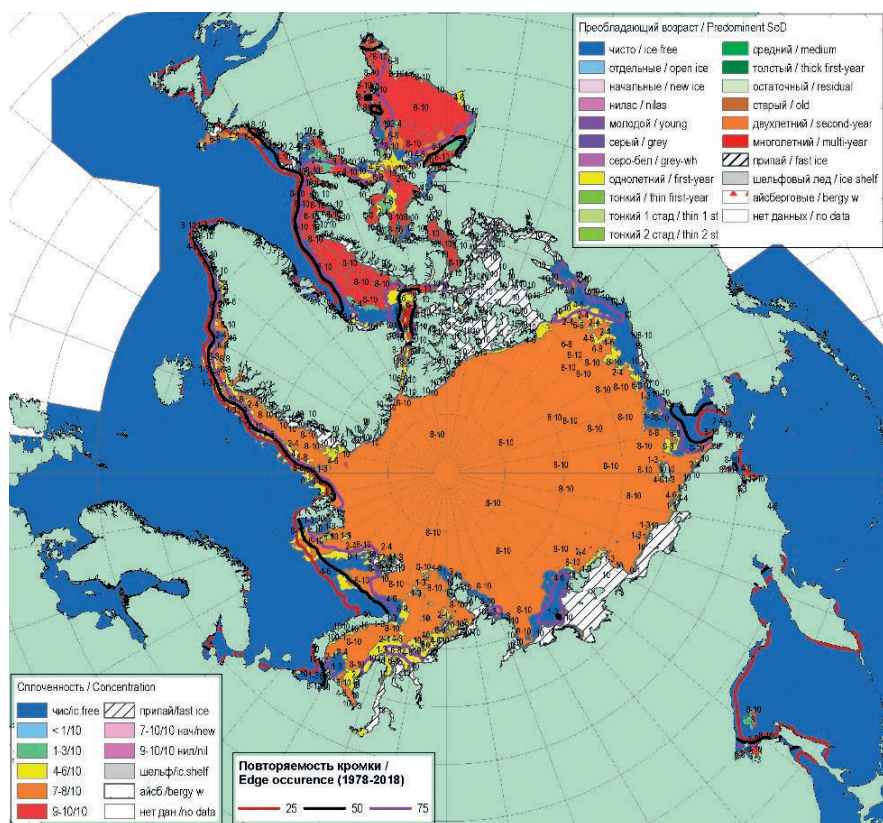


Рис. 2.2.8. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 13—18 июня 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

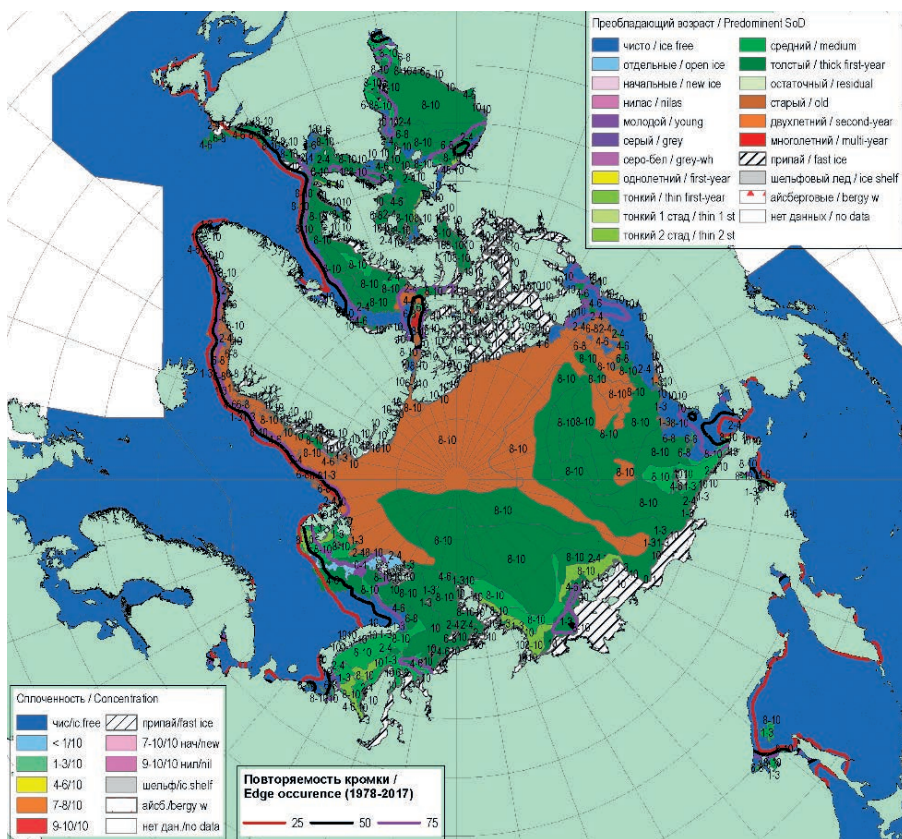


Рис. 2.2.9. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 13—18 июня 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

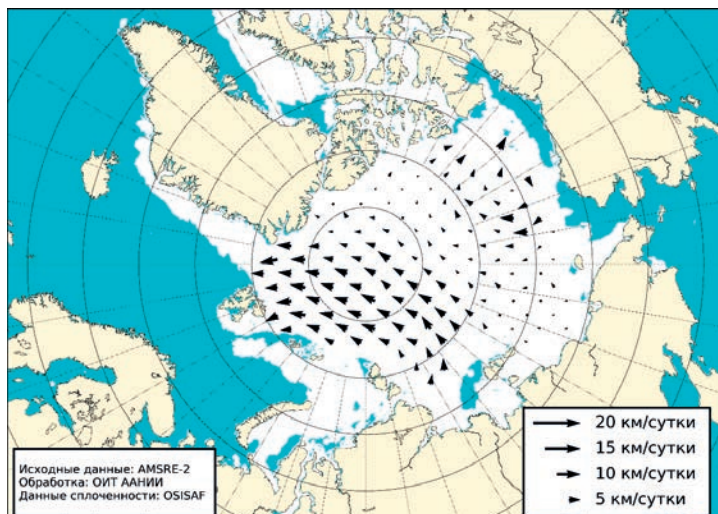


Рис. 2.2.10. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июне 2019 г.

Трансарктического переноса льда и менее развитого Канадского антициклонического круговорота.

Трансарктический перенос льда начинался в северной части моря Лаптевых и через приполюсный район выносил льды к побережью Гренландии и в пролив Фрама. Такой характер дрейфа обусловил значительный вынос льдов не из моря Лаптевых.

Канадский антициклонический круговорот был менее развит, но существовал в виде обширного вихря с центром над морем Бофорта. Интенсивность Канадского антициклонического круговорота была невелика (рис. 2.2.10).

Общее количество льдов в СЛО, по оценкам, выполненным в ААНИИ, составило 10,3 млн км², что на 6 % меньше среднего многолетнего значения по длинному ряду наблюдений (1978—2019 гг.). Отрицательная аномалия сформировалась за счет малой ледовитости, наблюдавшейся в секторах 45° з. д. — 95° в. д. (Гренландское — Карское моря) и 170 — 45° з. д. (море Бофорта и канадская Арктика).

Интересно отметить динамику изменения ледовитости в СЛО в целом за первое полугодие 2019 г. Если в начале года отрицательная аномалия общего количества льда в СЛО составила –5,3 %, то за первый квартал 2019 г. она уменьшилась почти на 3 % и составила –2,3 %, что свидетельствует об интенсивном накоплении льдов в СЛО в первом квартале. В конце второго квартала 2019 г. аномалия ледовитости составила –6,0 %. Во втором квартале 2019 г., в который входит период интенсивного накопления льда (апрель — май), произошло увеличение по абсолютной величине отрицательной аномалии ледовитости по сравнению с первым кварталом на 3,7 %. Это свидетельствует о меньшем накоплении льдов в Северном Ледовитом океане перед началом летнего периода по сравнению со средним многолетним.

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

Развитие ледовых условий в СЛО и его морях в летний период началось на очень благоприятном фоне. В ряде районов арктических морей — в северной части Баренцева моря, в заприпайном районе моря Лаптевых, вдоль побережья Аляски в море Бофорта и в Чукотском море — сформировались обширные разряжения с чистой водой, которые послужили очагами дальнейшего интенсивного очищения от льда.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным грациям за каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период июль — сентябрь 2019 г. приведены на рисунках 2.3.1 — 2.3.9.

В июле продолжалось интенсивное очищение морей западного района российского сектора Арктики (Баренцева, Карского, Лаптевых) и морей Чукотского и Бофорта. К концу июля на большей части акватории этих морей наблюдались обширные пространства редких льдов и чистой воды. Аномалии ледовитости в этих морях составляли –20 ... –50 %. Медленные процессы таяния развивались в Восточно-Сибирском море.

Припай в российских арктических морях полностью разрушился в первой декаде июля, что произошло в среднем на 10—15 суток раньше средних многолетних сроков. Припай среди островов Канадского Арктического архипелага в течение июля частично взломался, но сохранялся до конца июля (рис. 2.3.1).

В возрастном составе льда наблюдалось дальнейшее сокращение количества однолетних толстых льдов в окраинных морях. Одновременно наблюдался интенсивный вынос старых льдов в пролив Фрама, о чем свидетельствует большая ширина ледового потока, превышающая среднее многолетнее значение. Небольшие

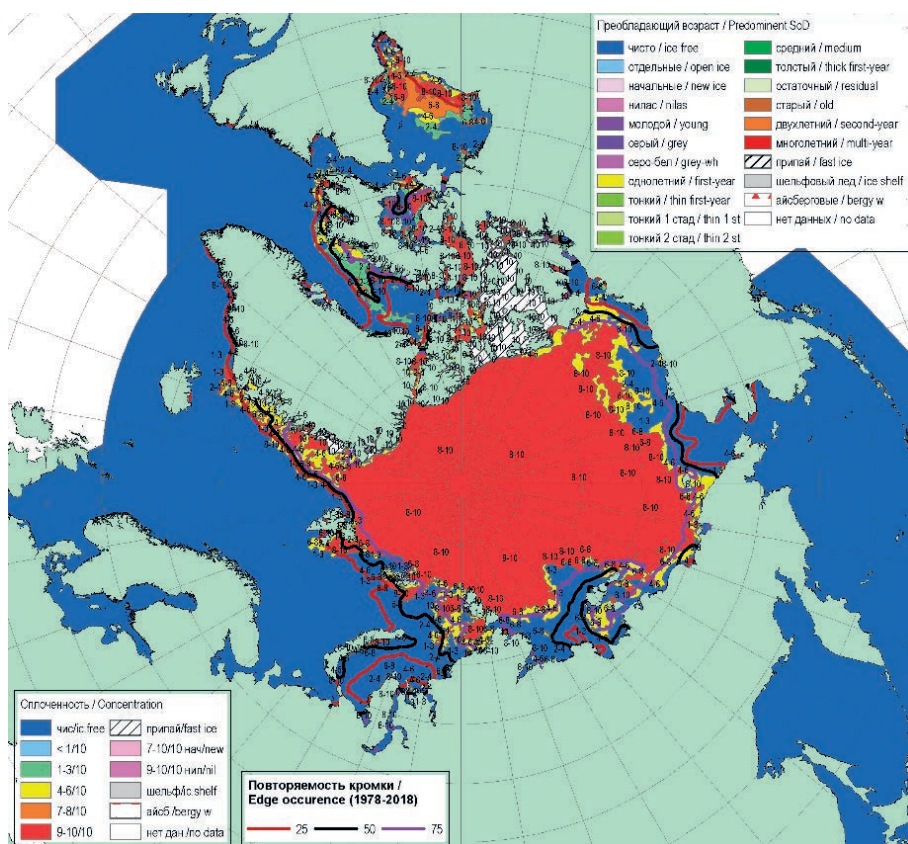


Рис. 2.3.1. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 18—23 июля 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

локальные полосы и пятна старых льдов сохранялись в морях Восточно-Сибирском и Бофорта. В море Бофорта наблюдалось аномально большое отступление дрейфующих льдов от побережья на север и полное очищение прибрежной части моря (рис. 2.3.2).

Среднемесячное поле дрейфа ледяного покрова приведено на рис. 2.3.3. В поле дрейфа льда наблюдалось формирование необычной картины. Вместо обычно наблюдаемых основных структур дрейфа — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота — сформировался хорошо выраженный перенос льда по направлению от моря Бофорта через приполюсный район на запад, к северной части Карского моря. Обширный Трансарктический перенос льда, который сформировался практически по всей акватории СЛО с востока на запад, обусловил перенос льдов из морей Чукотского и Бофорта в моря западного района российского сектора Арктики (рис. 2.3.3).

В течение августа продолжалось интенсивное сокращение площади ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и его морях. Уменьшение ледовитости происходило в основном за счет разрушения льда в окраинных арктических морях российского сектора Арктики, в том числе оно активно началось в морях Восточно-Сибирском и Бофорта. Большая часть всех окраинных арктических морей россий-

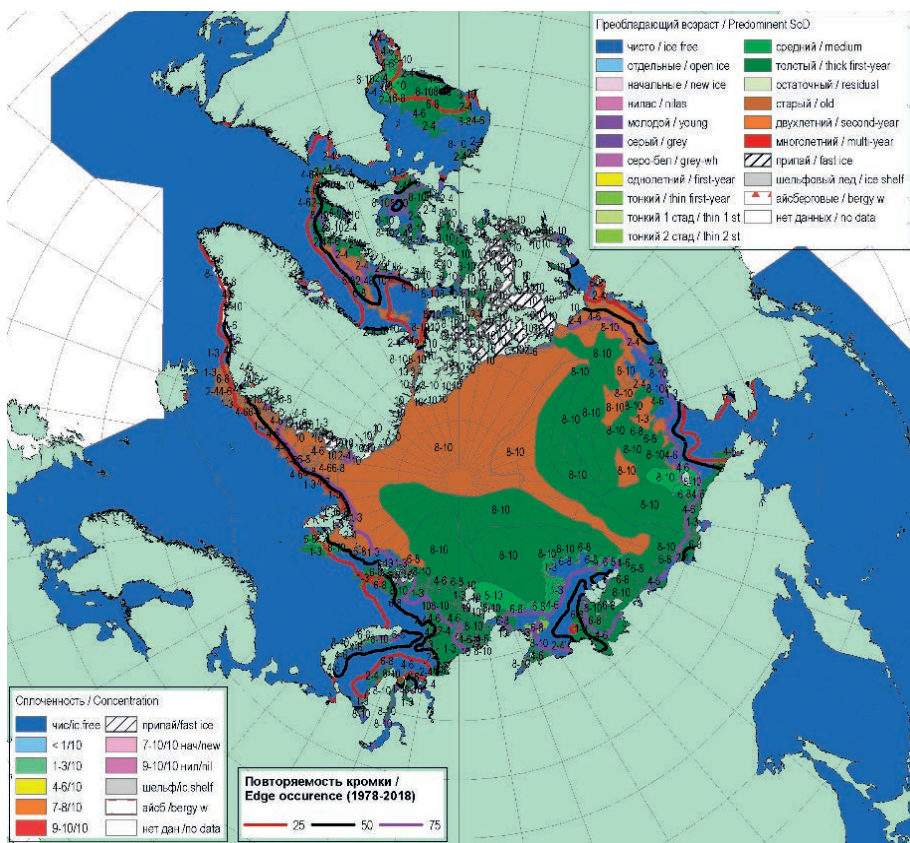


Рис. 2.3.2. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 18—23 июля 2019 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США.

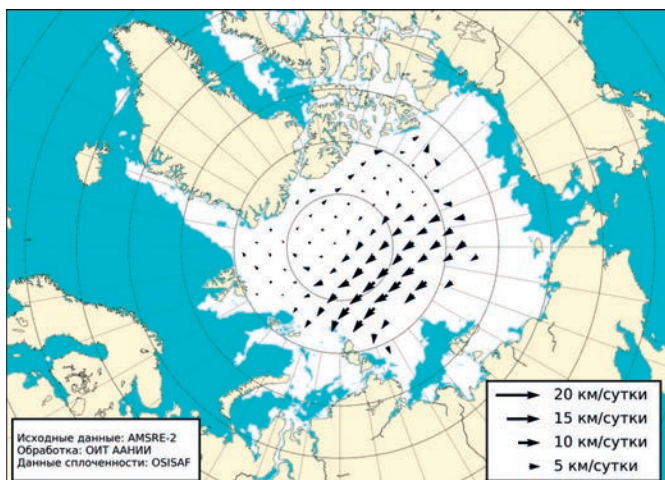


Рис. 2.3.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июле 2019 г.

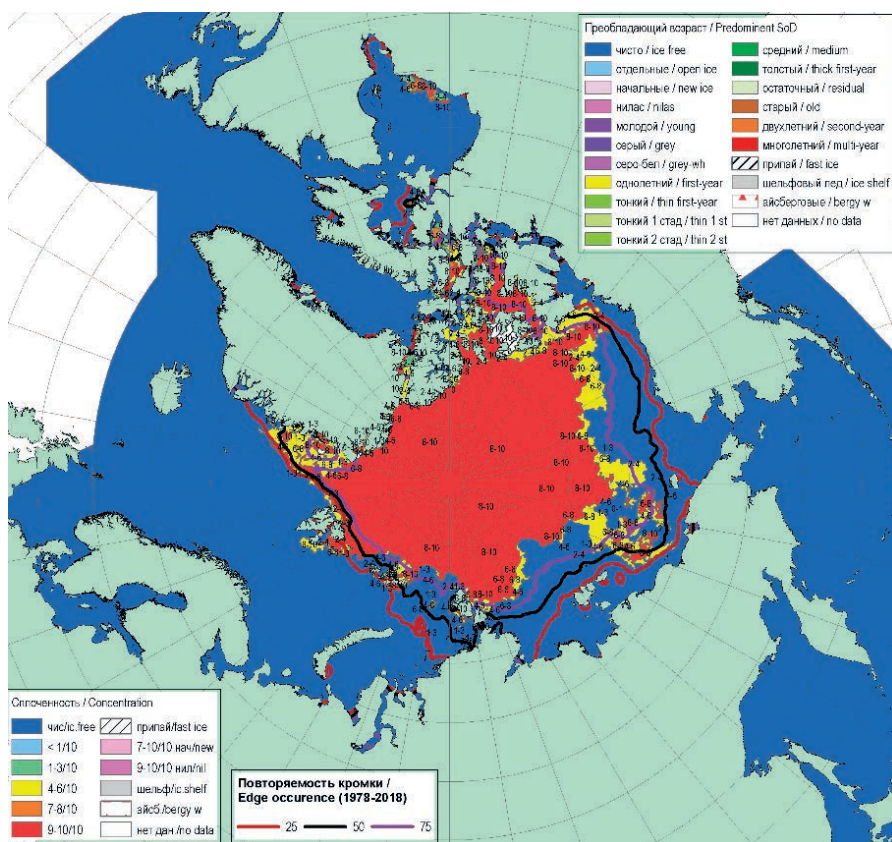


Рис. 2.3.4. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 15—20 августа 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

ского сектора Арктики за исключением Восточно-Сибирского моря практически полностью очистилась от льда. В Восточно-Сибирском море сохранялась обширная зона редких и разреженных льдов с отдельными пятнами сплоченных льдов. Во всех морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости, составляющие от -25 до -55 %. Граница отступления дрейфующих льдов на север в морях Карском, Лаптевых, Чукотском и Бофорта в августе 2019 г. располагалась аномально высоко. Весь массив льдов оказался смещенным в западную часть СЛО. Полностью разрушился припай в районе островов Канадского Арктического архипелага (рис. 2.3.4).

Возрастной состав льдов в СЛО и его морях сохранялся. Старые льды наблюдались в Гренландском и канадском секторах Арктики и в части приполюсного района. Оставшиеся льды представляли собой однолетние толстые льды различной степени разрушенности (рис. 2.3.5).

В августе в поле дрейфа льда произошла существенная перестройка. Разрушился Трансарктический перенос льдов с востока на запад, наблюдавшийся в июле. Традиционных структур дрейфа в СЛО не наблюдалось. Вместо них сформировался необычный для СЛО слабо выраженный циклонический вихрь с центром над приполюсным районом.

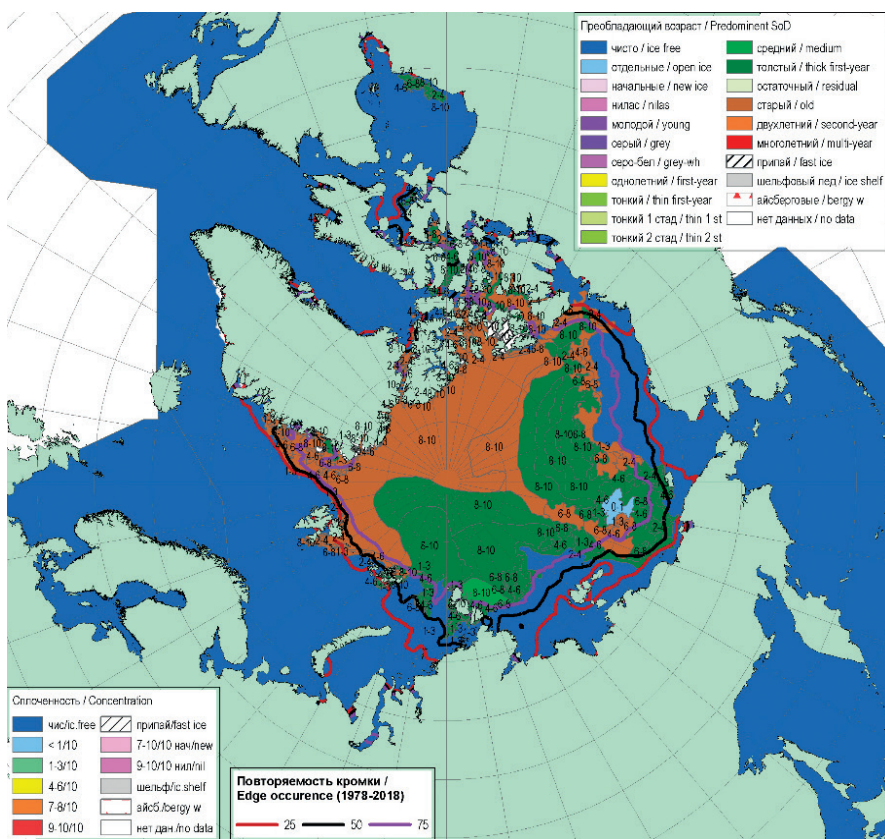


Рис. 2.3.5. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 15—20 августа 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

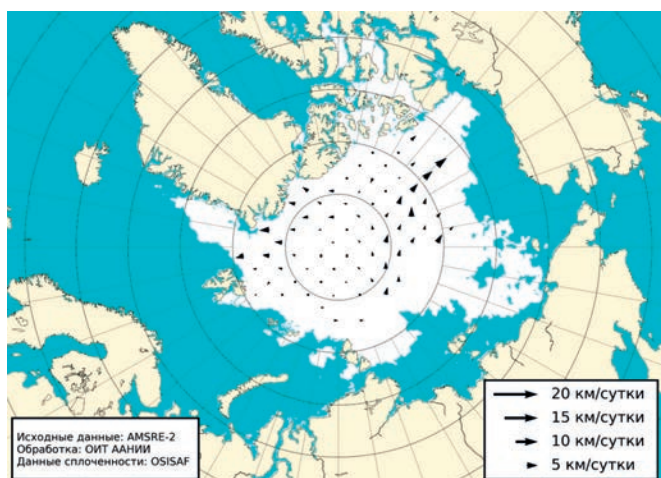


Рис. 2.3.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в августе 2019 г.

Циклонический круговорот выносил льды из северных частей российских арктических морей и приносил их к островам Канадского Арктического архипелага и далее вдоль него в пролив Фрама. Скорость дрейфа льдов была очень невелика (рис. 2.3.6).

В начале сентября в центральной части СЛО и в проливах Канадского Арктического архипелага началось новое ледообразование. В этих районах появились начальные льды, и это произошло в среднем на 5—10 суток позже средних многолетних сроков.

В середине сентября сокращение площади ледяного покрова в СЛО достигло своего минимума и прекратилось. Среди остаточных льдов к северу от широтной зоны 80—82° с.ш. началось ледообразование.

Ледообразование развивалось медленно. В конце второй декады сентября в прикромочной зоне массива остаточных льдов по всему фронту от моря Баренцева до моря Бофорта появились молодые льды — в среднем на 10—15 суток позже средних многолетних сроков. Ледообразование развивалось крайне медленно. До конца сентября ширина полосы начальных и молодых льдов не превышала 50—100 км. Таким образом, характерной особенностью осеннего ледообразования 2019 г. являются его позднее начало и медленное развитие (рис. 2.3.7).

Основная масса льдов, сохранившихся после периода летнего таяния в Северном Ледовитом океане, была смещена в западную часть океана и наблюдалась

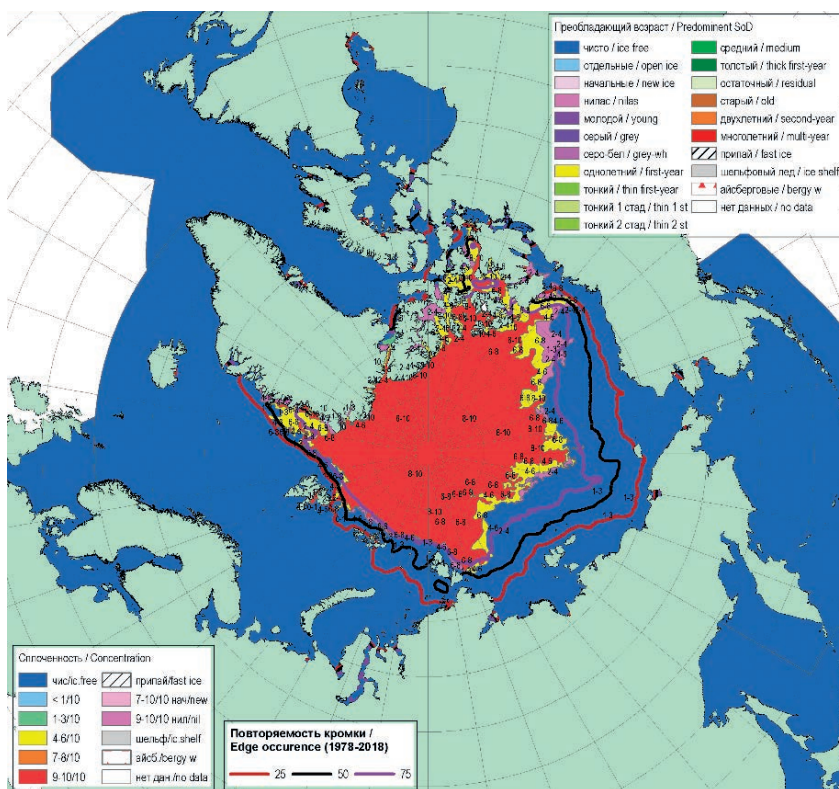


Рис. 2.3.7. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 17—19 сентября 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.



Рис. 2.3.8. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 17—19 сентября 2019 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛС США.

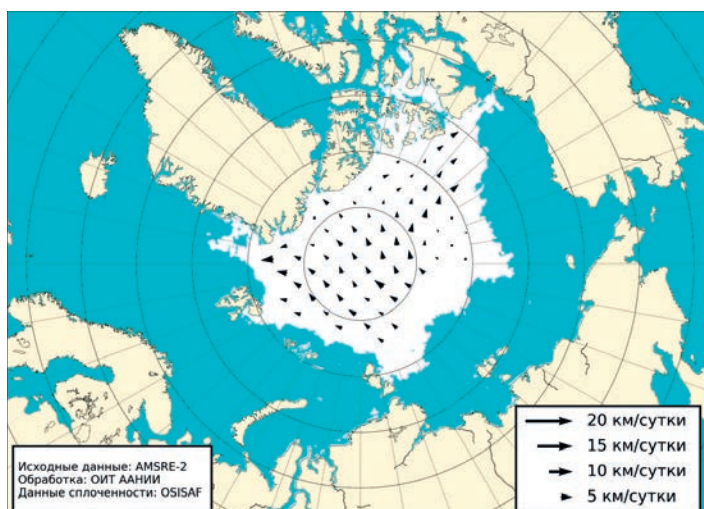


Рис. 2.3.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в сентябре 2019 г.

в приполюсном районе, гренландском и канадском секторах СЛО. В сентябре 2019 г. был в обновлен минимум положения границы остаточных льдов в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Бофорта (рис. 2.3.8).

Поле дрейфа ледяного покрова приведено на рис. 2.3.9. В сентябре сформировалась классическая схема дрейфа. Наблюдался хорошо развитый Трансарктический перенос, который начинался к северу от моря Лаптевых и через приполюсный район выносил льды к побережью Гренландии и далее в пролив Фрама. Также наблюдался частично сформировавшийся Канадский антициклонический круговорот. Вследствие отсутствия льдов в морях Чукотском и Бофорта в дрейфе льда участвовала только одна его ветвь, выносящая льды из приполюсного района к островам Канадского Арктического архипелага (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 2019 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 2019 г. Площадь ледяного покрова по расчетам составляет 12,8 и 4,4 млн км² соответственно, что хорошо соответствует фактическим данным для начала октября (11,7 и 4,3 млн км² для начала мая и начала октября соответственно). Сокращение площади ледяного покрова в СЛО, которое произошло в летний период 2019 г., составило 8,4 млн км² по модельным расчетам и 7,4 млн км² по спутниковым данным (см. рис. 2.3.10).

Объем льда на указанные выше даты составил 18,8 и 2,9 тыс. км³ соответственно. Таким образом, сокращение объема ледяного покрова в летний период в результате его таяния и выноса в пролив Фрама составило 15,9 тыс. км³, притом что в 2018 г. уменьшение объема льдов составило 14,3 тыс. км³. Таким образом, в 2019 г. наблюдалось существенно большее сокращение площади и объема льдов в результате летнего таяния по сравнению с предыдущим 2018 г.

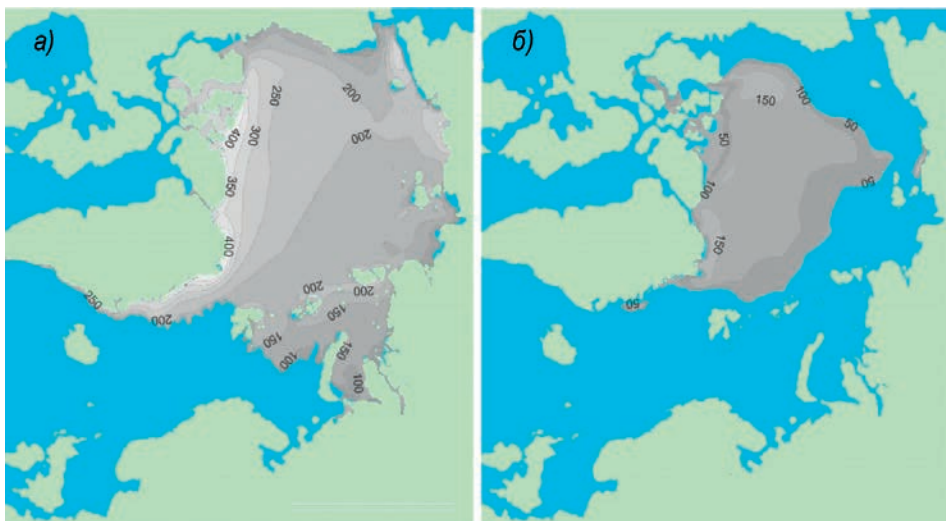


Рис. 2.3.10. Распределение средней толщины льда (с учетом торосов) в СЛО по результатам расчетов на 1 мая (а) и 1 октября (б) 2019 г. (модель AARI — IOCM).

Таблица 2.3.1

**Значения ледовитости за 16—22 сентября 2019 г. и ее аномалии (тыс. км²)
по отношению к значениям за разные годы и за периоды 2009—2019 и 1978—2018 гг.
по данным наблюдений SSMR-SSM/I-SSMIS**

Район, сектор	S, тыс. км ²	Аномалия						
		2013	2014	2015	2016	2016	2009— 2019	1978— 2018
СЛО	4123,9	–893,0	2015	2016	2017	2018		
Сектор 45° з.д. — 95° в.д. (моря Гренландское — Карское)	–373,8	–267,5	–585,1	–411,7	–426,4	–1841,8	–166,1	–442,6
Сектор 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское)	1155,5	–226,6	–93,3	13,8	81,0	165,8	–1,7	–270,4
Сектор 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское, Берингово, Охотское)	1033,8	–198,0	–160,8	–291,7	–487,6	–139,0	–246,2	–922,5
Сектор 170—45° з.д. (море Бофорта и Канадская Арктика)	2000,5	–466,7	–125,7	13,0	–173,5	–432,8	–177,9	–659,1

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2019 г. составила 4,26 млн км² при норме 6,06 млн км², т. е. была на 29 % меньше средних многолетних значений. Значения общей ледовитости в СЛО оказались на 1,76 млн км² меньше средних значений ледовитости за весь длинный ряд данных наблюдений (с 1978—2019 гг.). По площади остаточного льда 2019 г. стал третьим по рангу минимумов в группе легких лет.

Данные о ледовитости Северного Ледовитого океана и его секторов на середину сентября, а также сравнение со значениями ледовитости за ряд лет начиная с 2014 г. приведены в табл. 2.3.1.

На рис. 2.4.10 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для СЛО и его отдельных секторов за период с 26 октября 1978 г. по 29 декабря 2019 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I—SSMIS, алгоритм NASATEAM. Ход общей ледовитости показывает, что в течение практически всего летнего периода количество льдов в СЛО было меньше среднего многолетнего значения (нормы за 1978—2019 гг.) и было очень близко к экстремально малым значениям, которые наблюдались в 2012 и 2016 гг. Малая ледовитость СЛО в 2019 г. была обусловлена в основном малой ледовитостью двух секторов Арктики — сектором 95° в. д. — 170° з. д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское) и сектором 170 — 45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика). В отличие от малой ледовитости, наблюдаемой в этих секторах, в секторе 45° з. д. — 95° в. д. (Гренландское — Карское моря) ледовитость была достаточно высокой в зимний, весенний и летний периоды.

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

Распределение ледяного покрова по возрастным градациям и по сплоченности, а также поля среднемесячного дрейфа льда за каждый месяц за период октябрь — декабрь 2019 г. приведены на рис. 2.4.1 — 2.4.9.

После легких ледовых условий, сложившихся в течение летнего периода, леодообразование осенью 2019 г. началось позже средних многолетних сроков. В цен-

тральной части СЛО и в проливах Канадского Арктического архипелага начальные льды появились в начале сентября.

В начале октября молодые льды узкой полосой шириной 50—100 км наблюдались в прикромочной зоне остаточных льдов. Только в середине октября волна ледообразования подошла к северной границе всех арктических морей. Молодыми льдами были полностью покрыты отдельные районы морей — западные части морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, восточная часть моря Бофорта и проливы Канадского Арктического архипелага. Ледообразование началось в прибрежных районах морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского. Остальные окраинные моря — Гренландское, Баренцево, Чукотское, а также западная часть моря Бофорта оставались полностью свободными от льда.

Среди массива старых льдов в СЛО в третьей декаде октября начал наблюдаться переход молодых льдов в возрастную градацию 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 % меньше среднего многолетнего значения за длинный ряд данных наблюдений с 1979 по 2019 г. (норма 1,8 млн км²).

Поле сплоченности ледяного покрова в тех районах, в которых ледообразование уже началось, было достаточно однородным. Здесь преобладали льды спло-

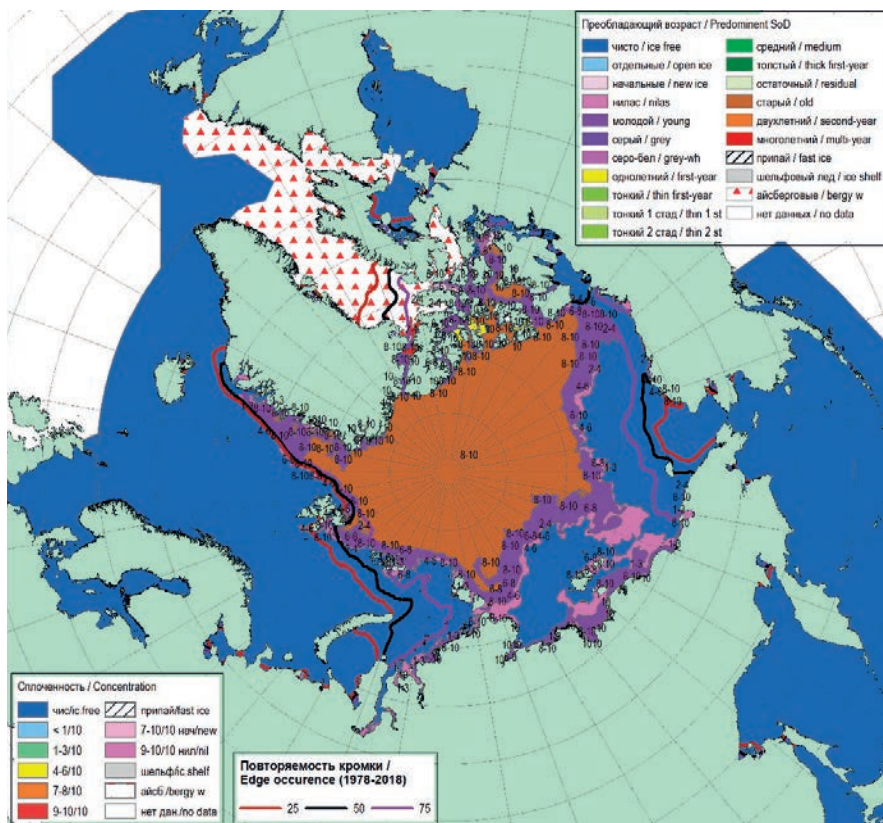


Рис. 2.4.1. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 17—22 октября 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

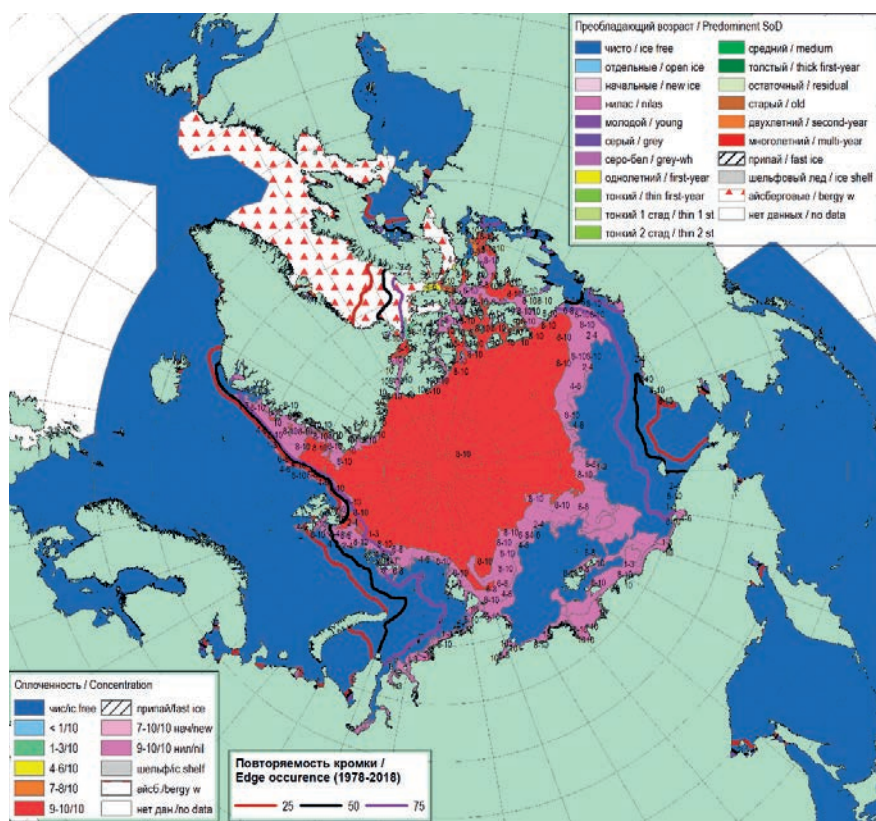


Рис. 2.4.2. Обзорная ледовая карта САО по сплоченности льда за 17—22 октября 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

ченностью 9—10 баллов. Образования припая, который обычно к этому времени становится среди островов Канадского Арктического архипелага, не наблюдалось (рис. 2.4.2). Это тоже свидетельствует о медленном развитии осенних ледовых процессов в октябре 2019 г.

В октябре был хорошо развит Трансарктический перенос льда. Его стрежень был смещен к востоку и располагался в направлении от северных границ морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Далее льды через приполюсный район выносились к северному побережью Гренландии. У побережья Гренландии поток дрейфующего льда поворачивал на запад и попадал в пролив Фрама.

Канадский антициклонический круговорот отсутствовал. Вместо него в канадском и аляскинском секторах Арктики наблюдалось плохо сформированное поле неустойчивого дрейфа льда (рис. 2.4.3).

В ноябре интенсивность ледообразования и скорость увеличения площади льда значительно возросли. Количество молодых льдов, появившихся в САО с середины октября по середину ноября, было экстремально большим и наибольшим за весь период наблюдений 1978—2019 гг., составив 3,5 млн км², что на 59 % превысило среднее многолетнее значение по длинному ряду наблюдений (2,2 млн км²).

Интенсивность нарастания льда также была достаточно высокой, что хорошо прослеживалась по появлению однолетних тонких льдов на акватории морей. Если

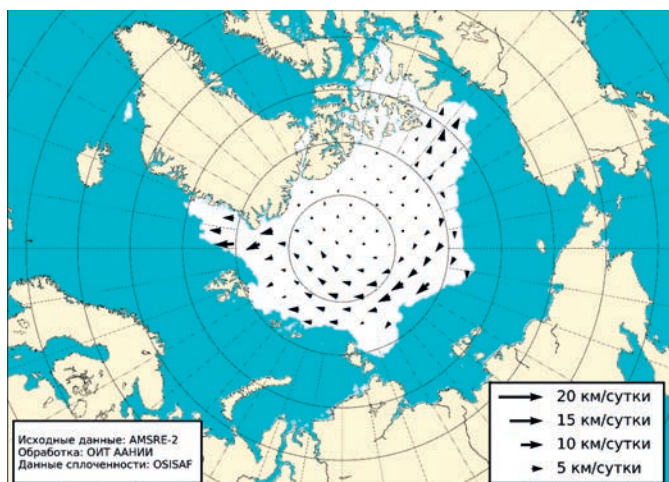


Рис. 2.4.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в октябре 2019 г.

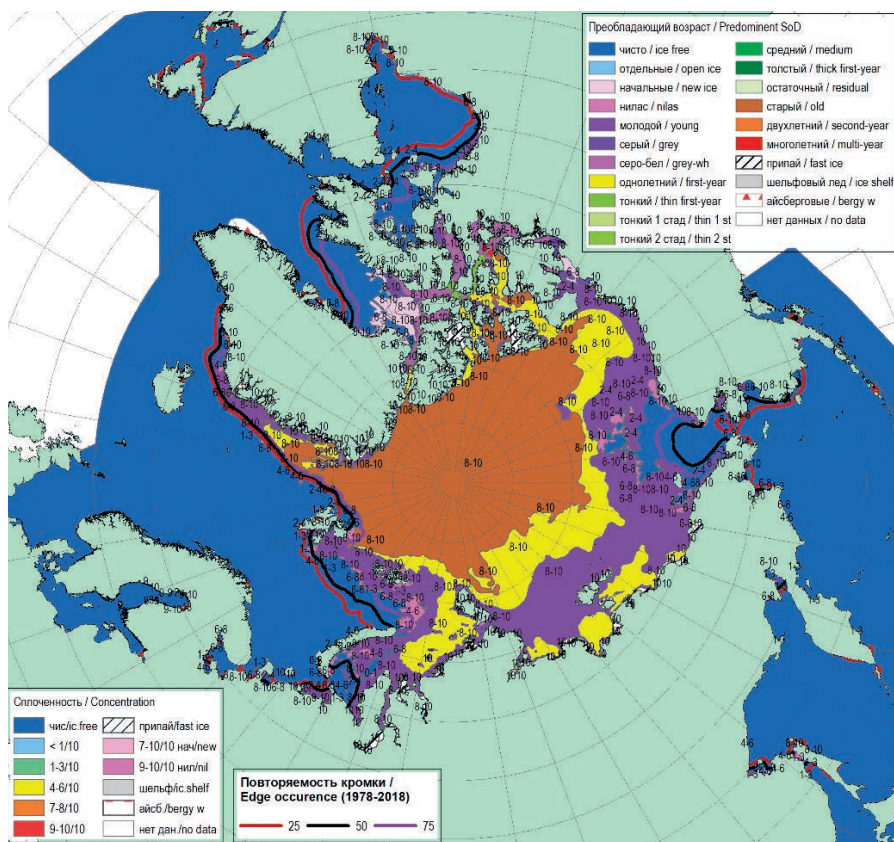


Рис. 2.4.4. Обзорная ледовая карта ЦАО по возрасту льда за 14—19 ноября 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

в конце октября в окраинных арктических морях российского сектора Арктики преобладали молодые льды, то в середине ноября на акватории северо-восточной части Карского моря, в районе Новосибирских островов, в восточной части моря Бофорта наблюдались однолетние тонкие льды (диапазон толщины 30—70 см).

Зона преобладания старых и остаточных льдов занимала весь приполюсный район, гренландский и канадский секторы Арктики (рис. 2.4.4).

Сплошные льды наблюдались на акватории всего океана и его окраинных морей. Свободными от льда оставались только большие акватории Баренцева и Чукотского морей. Среди островов Канадского Арктического архипелага с начала ноября появился сплошной припай (рис. 2.4.5).

В ноябре наблюдалось очень слабое развитие Трансарктического переноса, стрежень которого по сравнению с предыдущим месяцем, переместился на запад. В результате смещения стрежня Трансарктического переноса к западу льды из морей Лаптевых и Карского выносились в Гренландское море и в пролив Фрама.

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

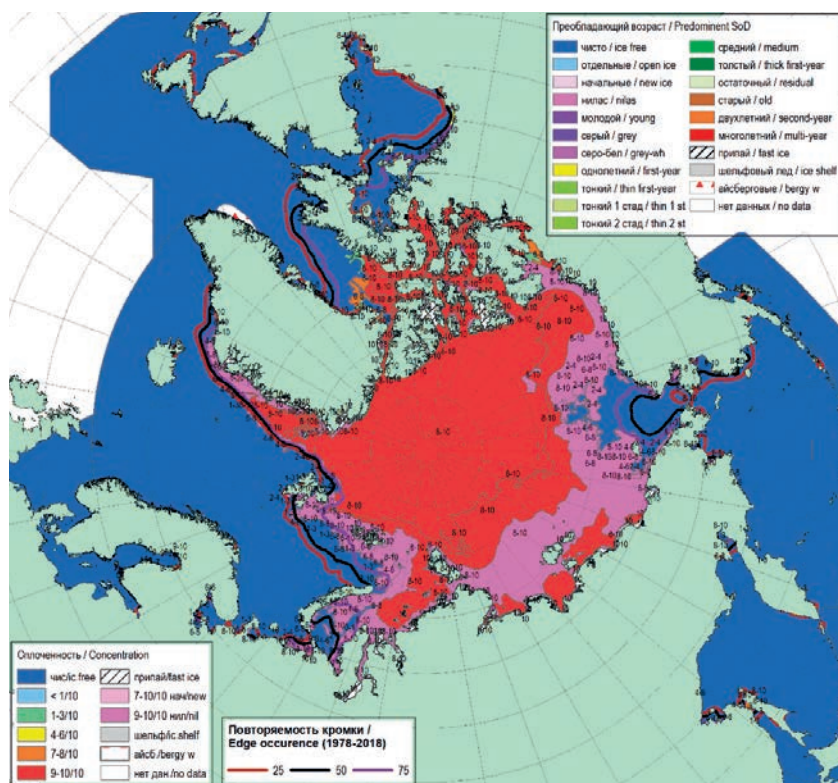


Рис. 2.4.5. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 14—19 ноября 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

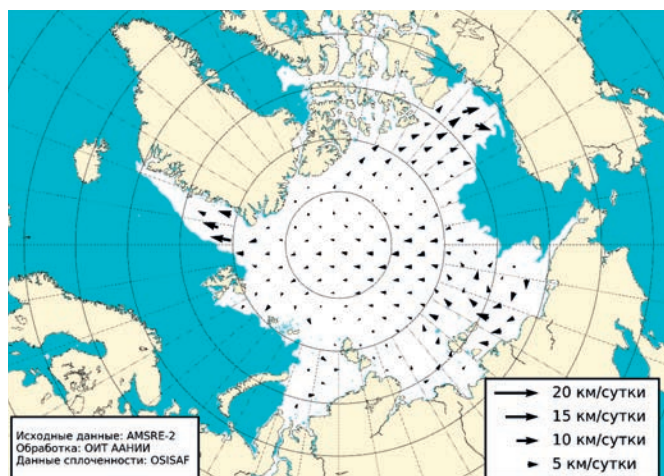


Рис. 2.4.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в ноябре 2019 г.

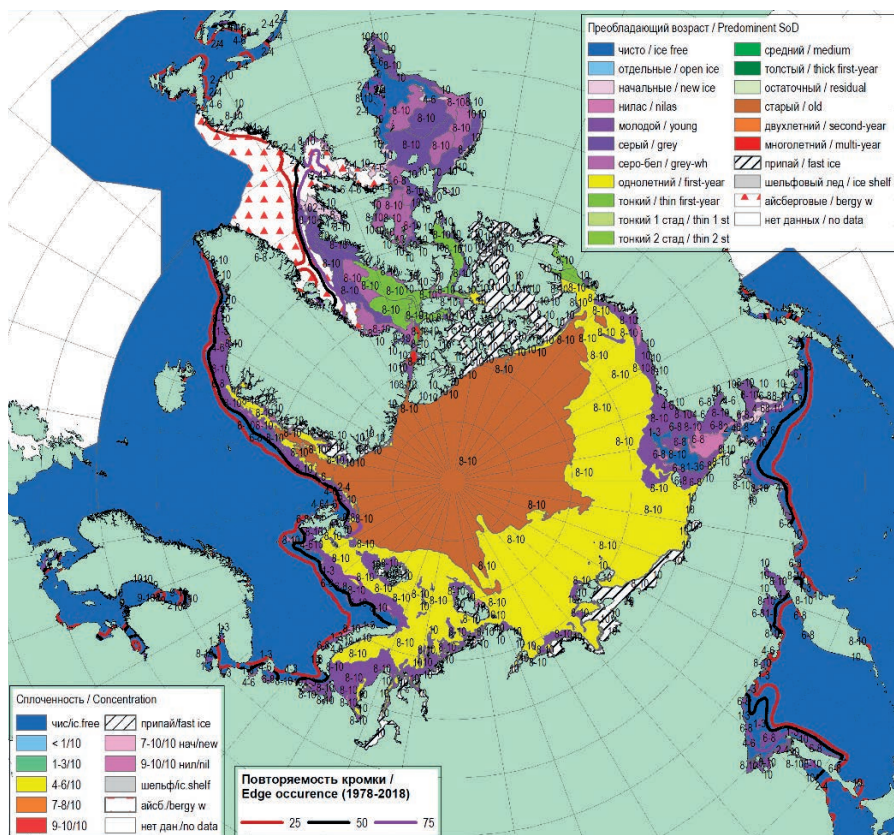


Рис. 2.4.7. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 12—17 декабря 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

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 1,9 млн км², превысив на 46 % среднее многолетнее значение по длинному ряду данных наблюдений (1,3 млн км²). В декабре процесс увеличения площади ледяного покрова был так же интенсивен, как и в ноябре.

В середине декабря на акватории северной части Баренцева моря, юго-западной части Карского моря и Чукотского моря наблюдались молодые льды. На акватории остальных арктических морей, начиная с северо-восточной части Карского моря и далее на восток, наблюдалось преобладание однолетнего тонкого льда (диапазон толщины 30—70 см). В северных частях морей стало отмечаться появление однолетних средних льдов (диапазон толщины 70—120) (рис. 2.4.7).

По всей акватории СЛО и по акватории всех его морей за исключением Баренцева и Чукотского сформировалось однородное поле сплоченности льда (9—10 баллов). Обширных разрывов и разряжений в ледяном покрове не наблюдалось нигде за исключением акватории Чукотского моря — там присутствовала обширная зона чистой воды и начальных льдов. Началось становление припая в районе Новосибирских островов. Обширный припай установился среди островов Канадского Арктического архипелага (рис. 2.4.8).

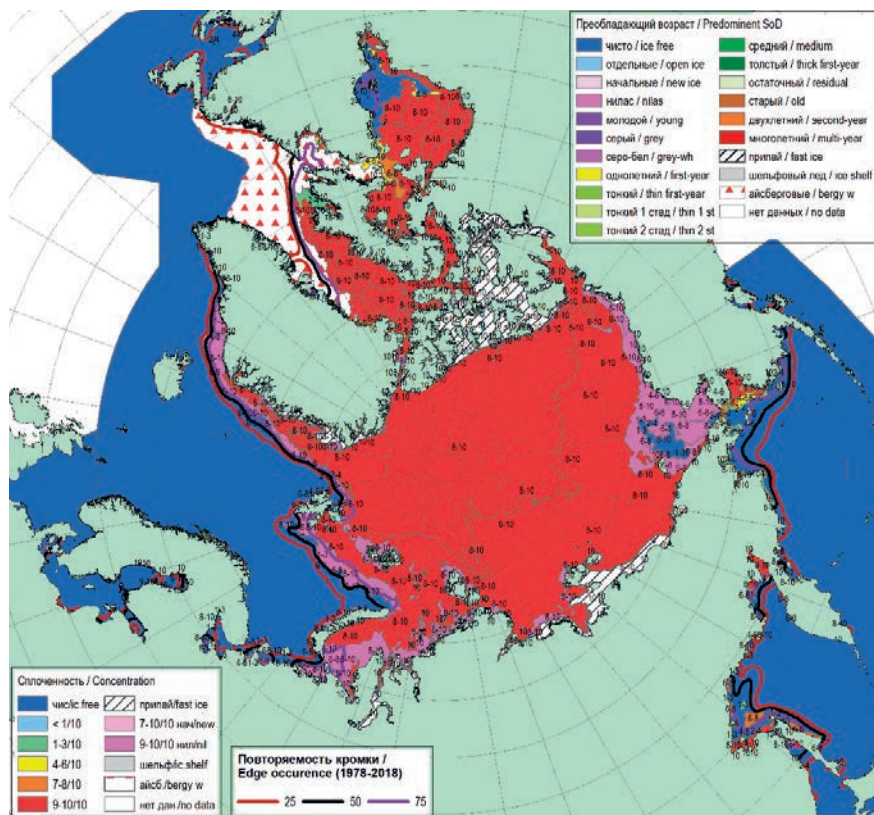


Рис. 2.4.8. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 12—17 декабря 2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

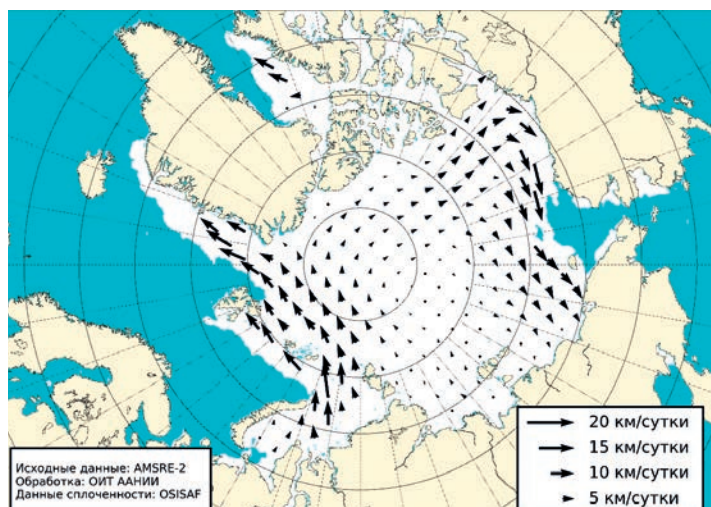


Рис. 2.4.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в декабре 2019 г.

В поле дрейфа льда сформировались две большие структуры. Наблюдался хорошо выраженный Трансарктический перенос льдов со стержнем, сильно смещенным на запад. Этот перенос осуществлял вынос льдов из западной части моря Лаптевых и Карского моря. Далее льды выносило в Гренландское море и пролив Фрама.

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

В конце декабря площадь льдов в СЛО приблизилась к своему среднему многолетнему значению составив по оценкам, выполненным в ААНИИ, около 11,0 млн км² при норме 11,4 млн км², т. е. была на 3,5 % меньше среднего многолетнего значения. Необходимо отметить, насколько быстро акватория СЛО покрылась льдами в осенне-зимний период года. Площадь вновь появившихся льдов с сентября по декабрь составила 6,7 млн км² при норме 5,3 млн км², то есть была на 26 % больше, чем обычно. Аномалия ледовитости, которая в середине сентября составляла –29 %, в декабре уменьшилась до –3,5 % за счет очень интенсивного образования льдов в течение ноября — декабря.

На рис. 2.4.10 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и его отдельных секторов (за период с 26 октября 1978 г. по 29 декабря 2019 г.) по годам на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I, алгоритм NASATEAM.

Сезонный ход ледовитости в СЛО показывает, что общее количество льдов в течение всего года было устойчиво меньше средних многолетних значений «длинного ряда» наблюдений (1978—2019 гг.). Однако в летний период общая площадь льдов на 0,74 млн км² превышала значение, наблюдавшееся в аномально легком 2012 г., и незначительно (на 6 тыс. км²) превышала площадь льдов в 2007 г., став, таким образом, третьей по рангу в группе легких лет.

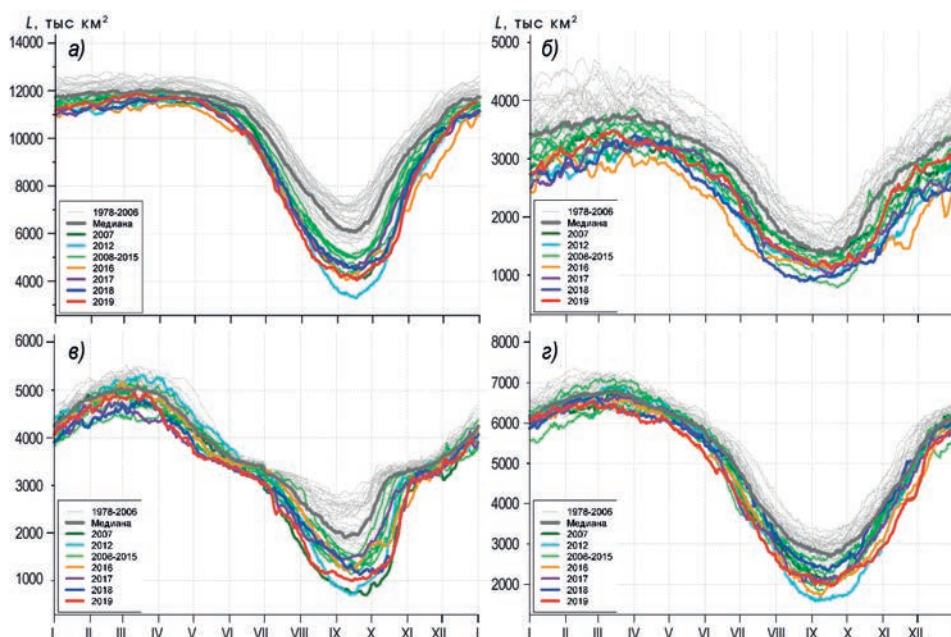


Рис. 2.4.10. Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для СЛО и трех меридиональных секторов за период 26 октября 1978 г. — 29 декабря 2019 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR—SSM/I—SSMIS—AMSR2.

- 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).

Анализ развития ледовых условий в 2019 г. в разных секторах СЛО и в разные сезоны года выявил интересные особенности. Основной вклад в формирование легких ледовых условий в течение года вносили моря двух меридиональных секторов — сектора 95° в. д. — 170° з. д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское) и сектора 170—45° з. д. (море Бофорта и Канадская Арктика) (см. рис. 2.4.10).

Развитие ледовых условий в 2019 г. изменило тенденцию, наблюдающуюся в последние несколько лет. После аномально легких ледовых условий в 2012 г. 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). Летнее сокращение площади ледяного покрова в 2019 г., ставшего третьим по рангу в группе легких лет, вновь обозначило тенденцию к дальнейшему сокращению площади льдов в СЛО в летний период.

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 Енисей.

Ледово-гидрологические условия в устьевых областях рек бассейна Карского моря

Нарастание льда в зимне-весенний период

На устьевых участках рек бассейна Карского моря наибольшее нарастание льда на реках Оби, Таз и Енисей (п. Караул) наблюдалось в январе, а на реке Енисей (п. Дудинка) — в феврале. На реке Енисей (п. Игарка) в феврале и апреле нарастания не отмечалось.

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

Таблица 2.5.1

Толщина льда (H) и его нарастание (ΔH) от месяца к месяцу на устьевых участках рек бассейна Карского моря

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	70	+15	75	+5	86	+11	88	+2
Таз	Тазовское	78	+22	94	+16	100	+6	102	+2
Енисей	Игарка	73	+10	73	0	75	+2	75	0
	Дудинка	91	+20	118	+27	130	+12	148	+18
	Караул	65	+20	80	+15	90	+10	97	+7

В табл. 2.5.2 приведены аномалии толщины льда на конец апреля, т. е. в период, близкий к периоду максимального нарастания льда. На реках Оби, Таз и Енисей (п. Игарка и Караул) толщина льда оказалась меньше среднего многолетнего значения на 13—39 см; на реке Енисей (п. Дудинка) — больше среднего многолетнего значения на 18 см.

Таблица 2.5.2

Толщина льда и ее аномалия на конец апреля на устьевых участках рек бассейна Карского моря

Река	Пункт	Толщина, см		
		2019 г.	Средняя	Аномалия
Обь	Салехард	88	101	–13
Таз	Тазовское	102	134	–32
Енисей	Игарка	75	97	–22
	Дудинка	148	130	+18
	Караул	97	136	–39

Высота снега на льду в конце апреля составила на реке Оби 11—15 см, на реке Таз 36—50 см, на реке Енисей от 26—35 до 36—50 см.

В табл. 2.5.3 приведены данные о нарастании льда ежемесячно с января по май на устьевых взморьях рек Оби и Енисей 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 Енисей**

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	96	+36	134	+38	146	+12	162	+16
Енисейский залив	Сопочная Карга	88	+16	99	+11	108	+9	118	+10

Наибольшее нарастание льда на устьевом участке реки Оби наблюдалось в феврале, на устьевом взморье реки Енисей — в январе.

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

Таблица 2.5.4

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

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2019 г.	Среднее	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	162	141	+21
Енисейский залив	Сопочная Карга	118	165	-47

Толщина льда в конце апреля на устьевом взморье реки Оби была больше среднего многолетнего значения на 21 см, а на устьевом взморье р. Енисей меньше среднего многолетнего на 47 см.

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

Характеристика процесса вскрытия

Признаком начала разрушения льда весной является образование закраин.

Появление закраин на устьевых участках рек бассейна Карского моря отмечалось: на реке Оби в конце первой декады мая, на реке Енисей и Таз — в третьей декаде мая. Подвижки льда на устьевых участках р. Оби наблюдались 19 мая, р. Енисей — с 27 мая по 7 июня. На реке Таз подвижки льда не наблюдались. Затор льда отмечался только на реке Енисей (п. Игарка) 31 мая.

Таблица 2.5.5

Сроки вскрытия и очищения на устьевых участках рек

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь	Салехард	22 V	24 V	-2	30 V	30 V	0
Таз	Тазовское	9 VI	10 VI	-1	13 VI	11 VI	+2
Енисей	Игарка	29 V	27 VI	+2	6 VI	5 VI	+1
	Дудинка	6 VI	3 VI	+3	14 VI	11 VI	+3
	Караул	9 VI	8 VI	+1	15 VI	18 VI	-3

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

Весенний ледоход на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисей начался в сроки, близкие к средним многолетним.

Продолжительность весеннего ледохода на реках Таз, Оби и Енисей составила 4—8 дней.

Очищение от льда устьевых участков рек Оби, Таз и Енисей также отмечено 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 Енисей.

Таблица 2.5.6

Сроки вскрытия и очищения на устьевых взморьях рек Оби и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Взлом припая	19 VI	18 VI	+1
		Очищение от льда	25 VI	27 VI	–2
Енисейский залив	Сопочная Карга	Взлом припая	20 VI	20 VI	0
		Очищение от льда	23 VI	27 VI	–4

Взлом припая устьевых взморий рек Оби и Енисей произошел в сроки, близкие к средним многолетним. Очищение устьевых участков рек Оби и Енисей отмечено на 2—4 дня раньше средних дат.

Продолжительность ледохода в Обской губе составила шесть дней, в Енисейском заливе — три дня.

Характеристика процесса замерзания

Замерзание крупных рек бассейна Карского моря, как правило, начинается с появления заберегов. В 2019 г. появление заберегов зафиксировано позже средних многолетних сроков: на реке Оби — на один день, на реке Таз — на восемь дней, на реке Енисей — на 11—15 дней. Устойчивое появление плавучего льда также произошло позже средних многолетних сроков на 6—11 дней; исключение составляет река Обь, где появление льда началось на четыре дня раньше средних многолетних дат. Становление ледостава во всех пунктах также произошло позже средних многолетних сроков на пять — восемь дней. Продолжительность периода с плавучим льдом составила от 0—4 дня на реках Таз и Енисей до 15 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 Енисей.

В табл. 2.5.8 приведены сроки замерзания, а также аномалии по отношению к средним многолетним срокам на устьевых взморьях рек Оби и Енисей.

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		
	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь, Салехард Таз, Тазовское Енисей, Игарка Енисей, Дудинка Енисей, Караул	19 X	18 X	+1	19 X	23 X	−4	3 XI	29 X	+5
	18 X	10 X	+8	18 X	12 X	+6	19 X	14 X	+5
	—	16 X	—	25 X	16 X	+9	29 X	21 X	+8
	27.X	12 X	+15	28 X	17 X	+11	29 X	24 X	+5
	23 X	12 X	+11	26 X	19 X	+7	26 X	21 X	+5

Таблица 2.5.8

Сроки наступления ледовых явлений на устьевых взморьях рек Оби и Енисея

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Устойчивое появление плавучего льда	18 X	11 X	+7
		Полное замерзание	28 X	17 X	+11
Енисейский залив	Сопочная Карга	Устойчивое появление плавучего льда	16 X	11 X	+5
		Полное замерзание	30 X	22 X	+8

На устьевом взморье появление плавучего льда и полное замерзание происходило на 5—7 и 8—11 дней позже средних многолетних сроков соответственно. Продолжительность периода с плавучим льдом составила 10—14 дней.

Нарастание льда в осенне-зимний период

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

Таблица 2.5.9

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

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обь Таз Енисей	Салехард	—	42	+42	56	+14
	Тазовское	—	51	+51	70	+19
	Игарка	—	45	+45	62	+17
	Дудинка	—	39	+39	63	+24
	Караул	3	35	+32	50	+15

Наибольшее нарастание льда с момента начала ледообразования на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисей наблюдалось в ноябре.

Таблица 2.5.10

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2019 г.	Среднее	Аномалия
Обь	Салехард	56	64	–8
Таз	Тазовское	70	78	–8
Енисей	Игарка	62	59	+3
	Дудинка	63	73	–10
	Караул	50	88	–38

Толщина льда в конце декабря 2019 г. на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисей (п. Дудинка и Караул) была меньше средних многолетних значений на 8—38 см, а на реке Енисей (п. Игарка) — больше средних значений на 3 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от 16—20 до 36—50 см.

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 Енисей.

Таблица 2.5.11

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

Устьевое взморье	Пункт	30 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Обская губа	Новый Порт	10	45	+35	81	+36
Енисейский залив	Сопочная Карга	21	48	+27	78	+30

Таблица 2.5.12

Толщина льда и ее аномалия в конце декабря на устьевых взморьях рек Обь и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2019 г.	Средняя	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	81	79	+2
Енисейский залив	Сопочная Карга	78	99	–21

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

Толщина льда в конце декабря 2019 г. на устьевом взморье реки Оби была больше средних многолетних значений на 2 см, на устьевом взморье реки Енисей — меньше на 21 см.

Высота снега на льду на конец декабря на устьевом взморье реки Енисей составила 12 см, на устьевом взморье реки Оби — не отмечена.

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

Нарастание льда в зимне-весенний период

Наибольшее нарастание льда на устьевых участках рек Хатанги, Оленёк (п. Тюмети), Лены (п. Хабарово) и Яны отмечено в январе, на реке Оленёк (п. Усть-Оленёк) — в феврале и марте, на реке Лене (п. Кюсюр) — в марте. В апреле повсеместно продолжалось нарастание льда на всех реках, кроме реки Хатанги, где к концу месяца толщина льда уменьшилась на 8 см.

В табл. 2.5.13 приведены данные о нарастании льда ежемесячно с января по апрель на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых.

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	124	+25	140	+16	143	+3	135	–8
Оленёк, Тюмети	115	+26	127	+12	141	+14	152	+11
Оленёк, Усть-Оленёк	128	+10	144	+16	159	+15	165	+6
Лена, Кюсюр	115	+31	127	+12	163	+36	165	+2
Лена, Хабарово	175	+62	183	+8	200	+17	205	+5
Яна, Юбилейная	143	+78	150	+7	174	+24	187	+13

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

Таблица 2.5.14

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2019 г.	Среднее	Аномалия
Хатанга	Хатанга	135	151	–16
Оленёк	Тюмети	152	137	+15
	Усть-Оленёк	165	191	–26
Лена	Кюсюр	165	174	–9
	Хабарово	205	225	–20
Яна	Юбилейная	187	151	+36

Толщина льда в апреле в устье реки Оленёк (п. Тюмети) и в устьевой части реки Яны значительно превышала средние многолетние значения: превышение составило 15 и 36 см соответственно. В устьевой части реки Хатанги, Лены и Оленёк (п. Усть-Оленёк) толщина льда была ниже средних многолетних значений на 9—26 см.

Высота снега на льду в конце апреля в устьевой части реки Оленёк составила 26—35 см, на реке Яне — 11—15 см, на реках Лене (п. Кюсюр) и Хатанге — 21—25 см. В п. Хабарово (река Лена) измерения не проводились.

Характеристика процесса вскрытия

В 2019 г. появление закраин на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых было отмечено: на реке Лене в конце третьей декады мая, на реке Оленёк в первой декаде июня. На реке Яне и Хатанге закраины не наблюдались. Подвижки отмечены на реке Лене (п. Кюсюр) в конце третьей декады мая, на реках Оленёк и Лене (п. Хабарово) в первой декаде июня. На устьевых участках рек Яны и Хатанги подвижек не наблюдалось. На реках Лене и Оленёк (п. Тюмети) в первой декаде июня процесс вскрытия сопровождался образованием заторов.

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

Сроки вскрытия и очищения устьевых участков рек

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга Оленёк	Хатанга	4 VI	11 VI	–7	9 VI	16 VI	–7
	Тюмети	1 VI	1 VI	0	8 VI	12 VI	–4
	Усть-Оленёк	13 VI	16 VI	–3	15 VI	20 VI	–5
Лена	Кюсюр	30 V	31 V	–1	8 VI	9 VI	–1
	Хабарово	4 VI	6 VI	–2	10 VI	13 VI	–3
Яна	Юбилейная	2 VI	29 V	+4	5 VI	5 VI	0

Весенний ледоход повсеместно начался в сроки, близкие к средним многолетним на всех реках, кроме реки Хатанги, где ледоход отмечался раньше средней многолетней даты на 7 дней.

Продолжительность ледохода на реках составила: Хатанга — 5 дней, Оленёк — 2—7 дней, Лена — 6—9 дней, Яна — 3 дня.

Очищение от льда устьевых участков рек Лены и Яны произошло в сроки, близкие к средним многолетним, а устьевых участков рек Оленёк и Хатанги — на 4—7 дней раньше средних многолетних дат.

Характеристика процесса замерзания

Появление заберегов на устьевых участках рек моря Лаптевых началось позже среднемноголетних сроков на 4—9 дней.

В таблице 2.5.16 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений на устьевых участках рек Хатанга, Оленёк, Лена и Яна 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		
	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2018 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга,	—	—	—	5 X	2 X	+3	13 X	4 X	+9
Хатанга									
Оленёк,	5 X	27 IX	+8	6 X	30 IX	+6	19 X	9 X	+10
Тюмети									
Оленёк,	11 X	2 X	+9	11 X	1 X	+10	16 X	5 X	+11
Усть-Оленёк									
Лена,	12 X	8 X	+4	12 X	8 X	+4	27 X	22 X	+5
Кюсюр									
Быковская	—	8 X	—	15 X	11 X	+4	26 X	18 X	+8
протока									
р. Лены,									
Хабарово									
Яна,	7 X	28 IX	+9	7 X	30 IX	+7	8 X	5 X	+3
Юбилейная									

Устойчивое появление плавучего льда и ледостав были отмечены позже сред-немноголетних сроков на 3—10 и на 3—11 дней соответственно.

Продолжительность периода с плавучим льдом составила: 1 день на реке Яна, 8 дней на реке Хатанга, 5—13 дней на реке Оленёк и 11—15 дней на реке Лена.

Нарастание льда в осенне-зимний период

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

Таблица 2.5.17

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

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H см	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Хатанга	Хатанга	24	52	+28	80	+28
Оленёк	Тюмети	24	52	+28	70	+18
	Усть-Оленёк	29	64	+35	108	+44
Лена	Кюсюр	12	77	+65	101	+24
	Хабарово	—	65	+65	131	+66
Яна	Юбилейная	30	44	+14	56	+12

В осенне-зимний период наибольшее нарастание льда с момента начала ле-дообразования на устьевом участке реки Яна отмечено в октябре, на реках Оленёк (п. Тюмети) и Лена (п. Кюсюр) — в ноябре. На устьевых участках рек Оленёк (п. Усть-Оленёк) и Лена (п. Хабарово) наибольшее нарастание наблюдалось в дека-бре. На реке Хатанга нарастание льда в ноябре и декабре было одинаковым.

Таблица 2.5.18

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2019 г.	Средняя	Аномалия
Хатанга	Хатанга	80	92	–12
Оленёк	Тюмети	70	83	–13
Оленёк	Усть-Оленёк	108	100	+8
Лена	Кюсюр	101	85	+16
Лена	Хабарово	131	123	+8
Яна	Юбилейная	56	76	–20

На устьевых участках рек Хатанга, Оленёк (п. Тюмети) и Яна толщина льда в конце декабря была отмечена меньше средних величин на 12—20 см. На участке рек Лена и Оленёк (п. Усть-Оленёк) — на 8—16 см больше средних многолетних.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от 5—10 см до 26—35 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 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
Индиگیرка Колыма	Чокурдах	124	+34	138	+14	152	+14	157	+5
	Колымское	87	+22	104	+17	119	+15	39	+20
	Черский	86	+30	104	+18	118	+14	126	+8

Максимальное нарастание льда в устьевой части Восточно-Сибирского моря на реках Индиگیرке и Колыме наблюдалось в январе.

В табл. 2.5.20 приведены значения толщины льда и ее аномалии в период, близкий к периоду максимального нарастания льда, который приходится на конец апреля.

Таблица 2.5.20

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках крупных рек

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2019 г.	Среднее	Аномалия
Индиگیرка Колыма	Чокурдах	157	164	–7
	Колымское	139	140	–1
	Черский	126	141	–15

Толщина льда в конце апреля на устьевых участках рек Индиگیرки и Колымы была меньше нормы на 1—15 см.

Снег на льду в конце апреля на реке Колыме (п. Черский) уже отсутствовал. На реке Индиگیرке высота снега на льду составила 51—70 см, на реке Колыме (п. Колымское) — 5—10 см.

Характеристика процесса вскрытия

Закраины на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря были отмечены в конце второй — начале третьей декады мая, подвижки — в конце третьей декады мая. Затопы льда на реке Колыме (п. Колымское) отмечались 28 и 31 мая. На устьевых участках рек Индиگیرки и Колымы (п. Черский) затопов не наблюдалось.

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

Таблица 2.5.21

Сроки вскрытия и очищения рек на устьевых участках

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2019 г.	Средняя	Аномалия, сут	2019 г.	Средняя	Аномалия, сут
Индиگیرка Колыма	Чокурдах	5 VI	6 VI	–1	7 VI	9 VI	–2
	Колымское	29 V	29 V	0	1 VI	4 VI	–3
	Черский	1 VI	2 VI	–1	4 VI	7 VI	–3

Весенний ледоход и очищение от льда на реках Индигирке и Колыме начались в сроки, близкие к средним многолетним.

Продолжительность ледохода составила два дня в устьевой части реки Индигирки и три дня на реке Колыме.

Характеристика процесса замерзания

Появление заберегов на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря наблюдалось позже средних многолетних сроков на 4—5 дней.

В табл. 2.5.22 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений на устьевых участках рек Индигирки и Колымы 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		
	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2019 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Индигирка, Чокурдах	7 X	3 X	+4	7 X	5 X	+2	12 X	9 X	+3
Колыма, Колымское	11 X	6 X	+5	11 X	8 X	+3	12 X	12 X	0
Колыма, Черский	11 X	6 X	+5	7 X	7 X	0	12 X	10 X	+2

Появление плавучего льда и становление ледостава на устьевых участках рек Индигирки и Колымы отмечалось в сроки, близкие к средним многолетним.

Продолжительность периода с плавающим льдом составила 1—5 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	H см	ΔH см	H см	ΔH см
Индигирка	Чокурдах	19	67	+48	90	+23
Колыма	Колымское	—	51	+51	65	+14
	Черский	11	30	+19	56	+26

Максимальное нарастание льда (с момента начала ледообразования) на устьевых участках рек Колымы (п. Колымское) и Индигирки 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		
		2019 г.	Среднее	Аномалия
Индигоирка	Чокурдах	90	91	–1
Колыма	Колымское	65	74	–9
	Черский	56	69	–13

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

Высота снега на льду на конец декабря составляла 5—15 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 2019 г. выполнен на основании данных отечественных и зарубежных источников, пополнявших базу данных термохалинных характеристик (БДТХ) отдела океанологии ААНИИ. В БДТХ была загружена информация, полученная автономными дрейфующими комплексами ИТР (Ice-Tethered Profiler), в морских научно-исследовательских рейсах в рамках проекта «Трансарктика-2019» на НЭС «Академик Трёшников»

Таблица 3.1.1

**Сведения о наблюдениях за температурой и соленостью воды,
выполненных на акватории СЛО в 2019 г. и загруженных
в БДТХ отдела океанологии ААНИИ**

№ п/п	Экспедиция/платформа	Дата станции		Число станций
		первой	последней	
1	ИТР94	08.10.2019	16.12.2019	156
2	ИТР102	11.10.2019	17.12.2019	1271
3	ИТР103	18.11.2018	12.10.2019	5377
4	ИТР104	01.01.2019	29.08.2019	3795
5	ИТР105	01.01.2019	29.08.2019	3674
6	ИТР107	01.01.2019	23.09.2019	432
7	ИТР110	01.01.2019	06.08.2019	353
8	ИТР111	07.10.2019	17.11.2019	83
9	ИТР112	24.09.2019	15.12.2019	133
10	ИТР113	20.09.2019	17.12.2019	1623
11	ИТР114	22.09.2019	17.12.2019	1564
12	ИТР116	22.08.2019	17.12.2019	465
13	ИТР117	21.09.2019	16.12.2019	174
14	ИТР118	22.09.2019	16.12.2019	172
15	ИТР119	20.09.2019	17.12.2019	177
16	«Трансарктика-2019. Этап 1» на НЭС «Академик Трёшников»	22.03.2019	28.05.2019	285
17	«Трансарктика-2019. Этап 4» на НИС «Профессор Мультановский»	15.08.2019	06.10.2019	261
18	Научно-исследовательский стационар «Ледовая база Мыс Баранова» (зонд SBE19plus)	30.11.2018	15.07.2019	268
19	Океанологический полигон Российского научного центра на арх. Шпицберген (РНЦШ). Весна 2019 г.	14.05.2019	14.05.2019	9
20	Океанологический полигон Российского научного центра на арх. Шпицберген (РНЦШ). Осень 2019 г.	25.09.2019	04.10.2019	50

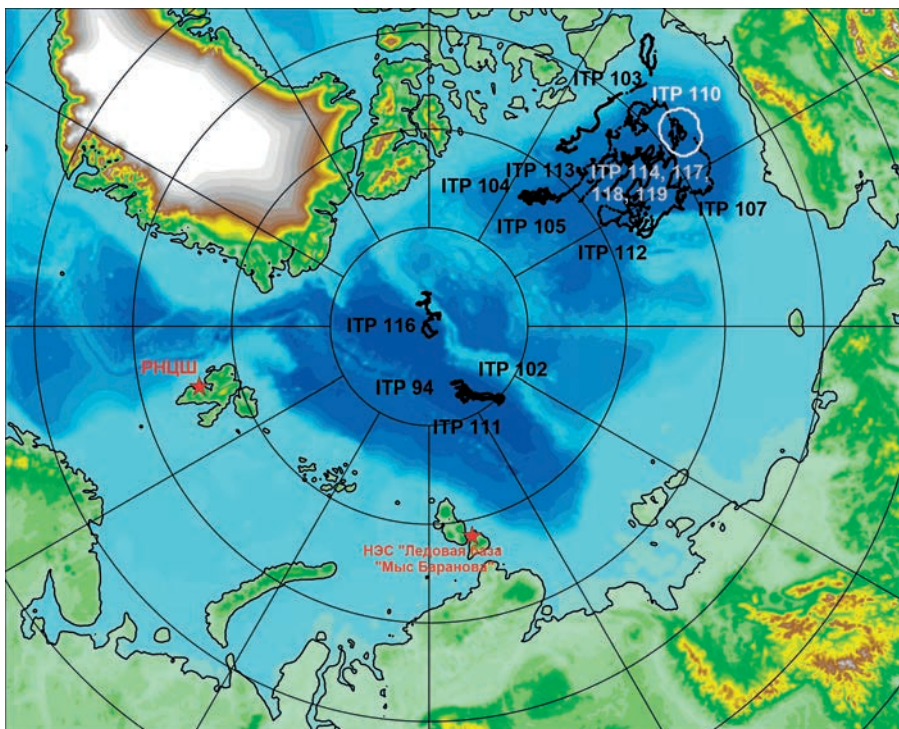


Рис. 3.1.1. Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО в 2019 г. .

(этап 1) и НИС «Профессор Мультиановский» (этап 4), а также в ходе реализации морских наблюдений на океанологическом полигоне Российского научного центра на арх. Шпицберген и в проливе Шокальского (научно-исследовательский стационар «Ледовая база Мыс Баранова») (табл. 3.1.1, рис. 3.1.1).

Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО в 2019 г. был осуществлен анализ вертикального распределения температуры и солёности по данным предварительно выделенной группы океанографических станций. В качестве таковой использовались данные ITP 110 в Канадской глубоководной котловине (см. рис. 3.1.1, белый контур). При дальнейшем анализе полученные статистические характеристики сравнивались с климатическими средними и их стандартными отклонениями. Для изучения особенностей термохалинной структуры в арктических морях в каждом море было выделено по одной океанологической станции, вокруг которой с радиусом 50 км производился поиск исторических данных (см. рис. 3.1.2).

Климатические средние и стандартные отклонения для выделенных районов рассчитывались по всей имеющейся в базе данных термохалинных характеристик отдела океанологии АНИИ информации за период с 1950 по 2000 г. для тех же месяцев, в которых производились наблюдения на выделенной океанологической станции в 2019 г.

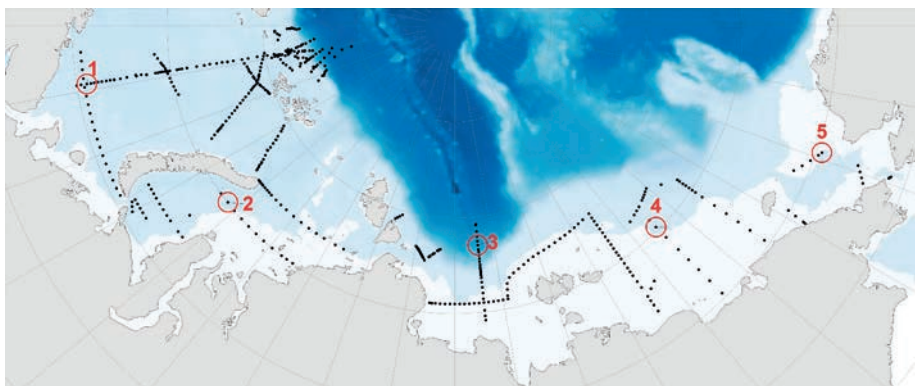


Рис. 3.1.2. Положение океанографических станций, выполненных в арктических морях в 2019 г. на этапах 1 и 4 экспедиции «Трансарктика».

Красными кружками отмечены районы поиска исторических данных для последующего сравнения с данными за 2019 г.

Амеразийский суббассейн

В 2019 г. распределение термохалинных характеристик по глубине в Канадской глубоководной котловине по данным ИТР 110 демонстрировало аномальное, наблюдающееся на протяжении последних нескольких лет состояние относительно среднего климатического.

В первом квартале 2019 г. поверхностный слой был существенно распреснен (28 ‰) по сравнению с климатической нормой (30,3 ‰). Значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя составило $-2,3$ ‰ (рис. 3.1.3). В аналогичный период 2018 г. аномалия солёности поверхностного слоя составила $-2,0$ ‰, а в 2017 г. $-3,1$ ‰. Температура верхнего перемешанного слоя варьировала около $-1,53$ °C и незначительно превышала климатическое среднее ($-1,7$ °C) вследствие повышения температуры замерзания воды из-за наличия распресненного слоя.

Во втором квартале 2019 г. значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя составило $-3,1$ ‰ (рис. 3.1.4). В аналогичный период 2018 г. аномалия солёности поверхностного слоя составила $-2,5$ ‰, а в 2017 г. $-2,1$ ‰. Температура верхнего перемешанного слоя, как и в первом квартале, варьировала около $-1,5$ °C.

В третьем квартале 2019 г. значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя составило -3 ‰ (рис. 3.1.5). В аналогичный период 2018 г. аномалия солёности поверхностного слоя составила $-2,3$ ‰. Температура верхнего перемешанного слоя ($-0,12$ °C) превышала климатическое среднее ($-0,93$ °C) на $0,81$ °C.

Под верхним перемешанным слоем на глубине более 40 м расположен слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), который является характерной особенностью Амеразийского суббассейна СЛО. Для этого слоя характерно наличие промежуточного максимума температуры воды в слое с солёностью от 31 до 33 ‰. Максимальное значение температуры слоя ЛТВ по данным ИТР 110 в первом квартале 2019 г. составило $0,22$ °C, превысив климатическую норму на $1,58$ °C (см. рис. 3.1.3). В 2018 г. аномалия составила $0,74$ °C, а в 2017 г. $1,5$ °C. Во втором и третьем кварталах мак-

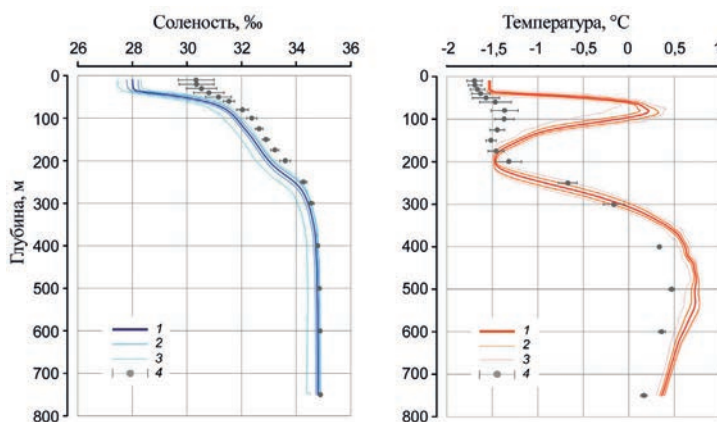


Рис. 3.1.3. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в период январь — март 2019 г. по результатам измерений профилографа ИТР 110.

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 ААНИИ за те же месяцы в период с 1900 по 2000 г.

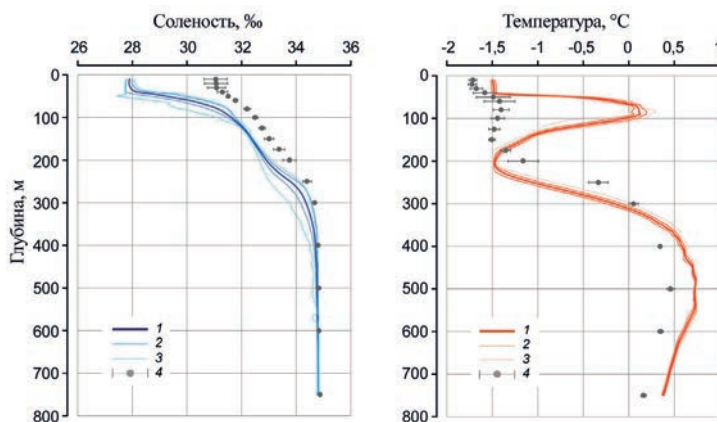


Рис. 3.1.4. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в период апрель — май 2019 г. по результатам измерений профилографа ИТР 110.

Условные обозначения см. рис. 3.1.3.

симальное значение температуры слоя ЛТВ составило $0,13^{\circ}\text{C}$, превысив климатическую норму на $1,5^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 3.1.4 и 3.1.5). В 2018 г. аномалия температуры составила $1,2^{\circ}\text{C}$.

Так же как и в предыдущие периоды, отмечалось увеличение глубины залегания нижней границы ЛТВ, которая составила 170—195 м (120 м согласно климатическим данным, 160 м в 2018 г.).

На глубине от 170 до 210 м (от 200 до 230 м в третьем квартале 2019 г.) в Канадской глубоководной котловине залегают так называемые зимние тихоокеанские

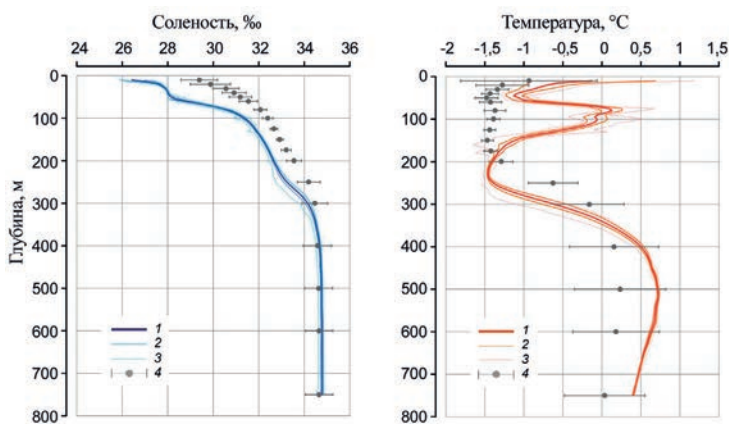


Рис. 3.1.5. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в период июль — август 2019 г. по результатам измерений профилографа ИТР 110.

Условные обозначения см. рис. 3.1.3.

воды, затекающие через Берингов пролив и смешивающиеся с водами Чукотского моря в холодный период. Эти воды в Арктическом бассейне характеризуются низкими значениями температуры и солёностью, равной 33,1 ‰, наблюдаемой в ядре данной прослойки. Характерной особенностью последних лет является заглубление ядра зимних тихоокеанских вод. По данным ИТР 110, в 2019 г. ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 200—230 м, в то время как среднее климатическое значение глубины залегания ядра составляет 150 м (см. рис. 3.1.3 — 3.1.5).

На глубине более 210 м в Канадской глубоководной котловине наблюдается постепенное повышение температуры воды, обусловленное теплоотдачей атлантической водной массы (АВ). Верхняя граница данного слоя (0 °C) по данным за первый и второй кварталы 2019 г., как и в предыдущие годы, располагалась на глубине 310 м. Максимальное значение температуры воды в ядре АВ составило 0,74 °C (глубина 480 м), что на 0,3 °C выше климатической нормы (см. рис. 3.1.3, 3.1.4). В третьем квартале 2019 г. максимальное значение температуры воды в ядре АВ составило 0,72 °C (глубина 510 м), что на 0,5 °C выше климатической нормы (см. рис. 3.1.5). В целом полученные оценки аномалии температуры АВ соответствуют значениям, полученным в предшествующий 2018 г.

Баренцево море

Район 1 (см. рис. 3.1.2) расположен в южной части Баренцева моря на пути распространения основной струи атлантической водной массы (АВ), проникающей в море с запада с Нордкапским течением. В мае 2019 г. поверхностный слой был незначительно распреснен (34,71 ‰) по сравнению с климатической нормой (34,76 ‰) (рис. 3.1.6). Температура верхнего слоя составила 4,1 °C, превысив климатическое среднее на 1,4 °C. Максимальная положительная аномалия температуры воды наблюдалась в слое атлантической водной массы на глубине 40 м и составила 1,6 °C. Стоит отметить, что положительная аномалия температуры воды наблюдалась на всем профиле глубины и повсеместно за исключением придонных горизонтов выходила за диапазон стандартного отклонения.

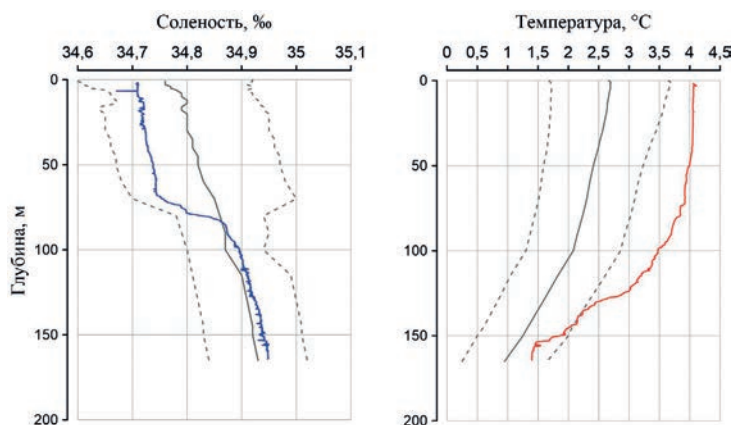


Рис. 3.1.6. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Баренцевом море в районе 1 в мае, полученные экспедицией «Трансарктика-2019. Этап 1» (синяя и красная кривые).

Серые кривые — средние значения (сплошные) и диапазон стандартных отклонений (штриховые), рассчитанные в период с 1950 по 2000 г.

Карское море

Район 2 расположен в центральной части Карского моря на границе шельфовой зоны и Новоземельского желоба (см. рис. 3.1.2). В августе значение солёности поверхностного слоя было на 1 ‰ ниже нормы и находилось внутри диапазона стандартного отклонения, который чрезвычайно широк (6,64 ‰) для этого района вследствие расположения на границе зоны распространения речного стока (рис. 3.1.7). Температура поверхностного слоя (6,4 °C) превышала климатическое среднее почти на 4 °C. Максимальная положительная аномалия температуры воды была зафиксирована на глубине 15—20 м и составила 6,5 °C. В глубоководной части разреза от глубины 70 м и ниже также наблюдалась положительная аномалия (1,5 °C) температуры воды.

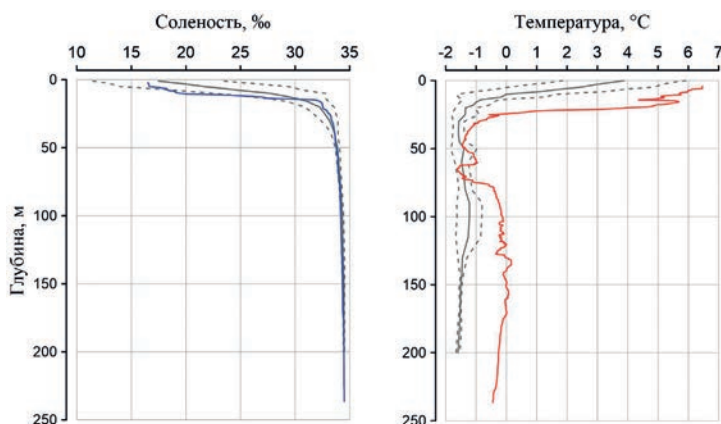


Рис. 3.1.7. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Карском море в районе 2 в августе, полученные экспедицией «Трансарктика-2019. Этап 4» (синяя и красная кривые).

Серые кривые — средние значения (сплошные) и диапазон стандартных отклонений (штриховые), рассчитанные в период с 1950 по 2000 г.

Море Лаптевых

Район 3 расположен в северной части моря Лаптевых в месте распространения основной струи теплой атлантической водной массы, распространяющейся вдоль континентального склона российских арктических морей (см. рис. 3.1.2). В сентябре 2019 г. значение температуры поверхностного слоя ($1,1^{\circ}\text{C}$) превышало климатическое среднее на $1,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.1.8). Наибольшее значение температуры атлантической водной массы ($1,95^{\circ}\text{C}$) было зафиксировано на глубине 280 м; оно превышало норму на $0,6^{\circ}\text{C}$, что соответствует оценкам, получаемым на протяжении последних нескольких лет. Также стоит отметить, что глубина залегания нижней границы АВ в 2019 г. была на 200 м больше по сравнению с историческими данными.

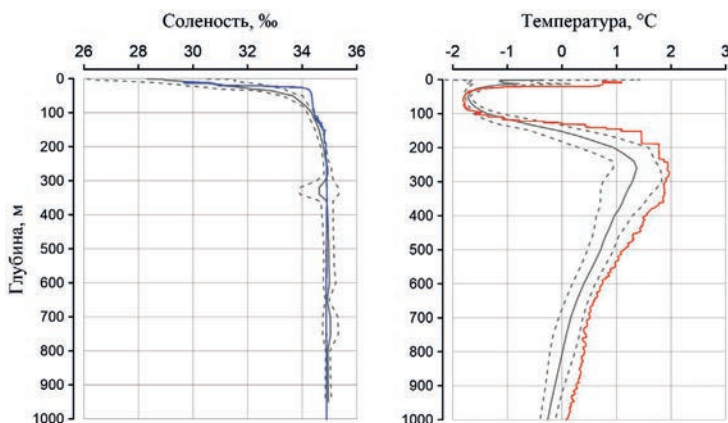


Рис. 3.1.8. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в море Лаптевых в районе 3 в сентябре, полученные экспедицией «Трансарктика-2019. Этап 4» (синяя и красная кривые).

Серые кривые — средние значения (сплошные) и диапазон стандартных отклонений (штриховые), рассчитанные в период с 1950 по 2000 г.

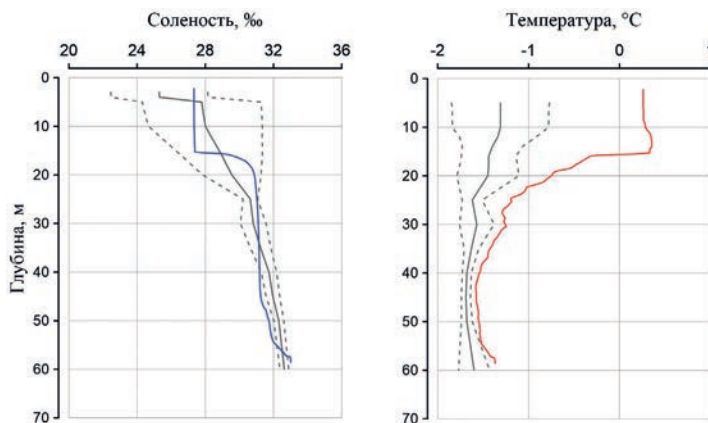


Рис. 3.1.9. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Восточно-Сибирском море в районе 4 в сентябре, полученные экспедицией «Трансарктика-2019. Этап 4» (синяя и красная кривые).

Серые кривые — средние значения (сплошные) и диапазон стандартных отклонений (штриховые), рассчитанные в период с 1950 по 2000 г.

Восточно-Сибирское море

Район 4 (см. рис. 3.1.2) расположен в центральной части Восточно-Сибирского моря. В сентябре 2019 г. во всем диапазоне глубины значения температуры воды превышали климатическую норму и выходили за пределы стандартного отклонения (рис. 3.1.9). Максимальное значение температуры воды, зафиксированное в поверхностном слое ($0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), превышало климатическое среднее на $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Чукотское море

Район 5 расположен в центральной части Чукотского моря (см. рис. 3.1.2). В августе 2019 г. температура воды поверхностного слоя составила $9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, превысив климатическую норму на $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.1.10). Максимальная положительная аномалия температуры воды была зафиксирована на глубине 25 м и составила $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. В свою очередь, значения солёности во всем диапазоне глубины демонстрировали наличие отрицательной аномалии от 0,1 до $1,2\text{ }_{\text{‰}}$.

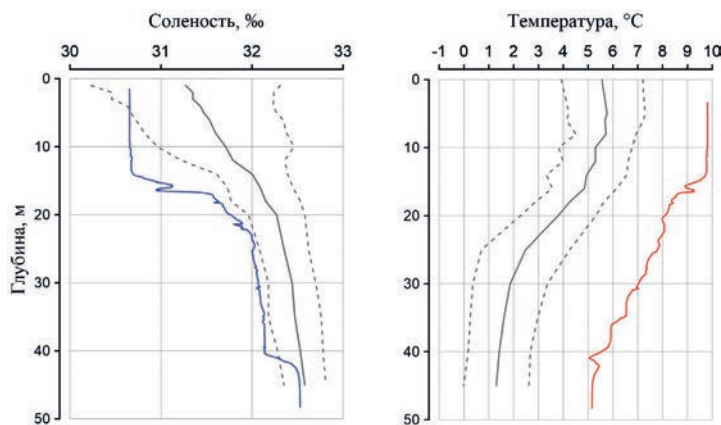


Рис. 3.1.10. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Чукотском море в районе 5 в августе, полученные экспедицией «Трансарктика-2019. Этап 4» (синяя и красная кривые).

Серые кривые — средние значения (сплошные) и диапазон стандартных отклонений (штриховые), рассчитанные в период с 1950 по 2000 г.

Основные выводы

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2019 г., гидрологический режим СЛО (в районе Канадской глубоководной котловины) и российских арктических морей продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему.

Распределение солёности поверхностного слоя характеризуется наличием выраженной отрицательной аномалии в Амеразийском суббассейне, которая в течение года изменялась от $-2,3\text{ }_{\text{‰}}$ (первый квартал) до $-3,1\text{ }_{\text{‰}}$ (второй и третий кварталы). Сохраняется положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ), значения которой в Канадской глубоководной котловине составили $+0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (первый и второй кварталы) и $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (третий квартал). Так же как и АВ, летние тихоокеанские воды характеризуются повышенной температурой, превышающей климатическое среднее на $1,5\text{—}1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура поверхностного слоя во всех российских арктических морях в 2019 г. превышала климатическую норму: аномалия составила от +1,4 °С в Восточно-Сибирском море до +4,1 °С в Чукотском море. Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод, значение которой в 2019 г. в Баренцевом море составило +1,6 °С, а в море Лаптевых +0,6 °С. Также стоит отметить наличие положительной аномалии придонной температуры, изменяющейся в пределах от +0,3 до +1,0 °С.

3.2. УРОВЕНЬ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

В 2019 г. наблюдения за уровнем моря велись: в Карском море на девяти станциях, семь из которых расположены в юго-западной части моря (МГ им. Е.К. Фёдорова (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 Стерлигова и ОГМС им. Е.К. Фёдорова (мыс Челюскина)); в море Лаптевых на четырех станциях (Анабар, мыс Кигилях, пр. Санникова, о. Котельный). Чукотское и Восточно-Сибирское моря наблюдениями за уровнем моря освещены не были.

На станции МГ им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос) наблюдения велись с февраля по май и с августа по октябрь; на станции Усть-Кара — с января по май, с июля по сентябрь и в декабре; на станции о. Диксон наблюдения не проводились в июле, августе и ноябре, на станции мыс Стерлигова не было наблюдений за уровнем в сентябре и октябре; на ОГМС им. Е.К. Фёдорова (мыс Челюскина) наблюдения проводились с июля по октябрь. Также стоит отметить, что на станции им. М.В. Попова (о. Белый) наблюдения проводились только в 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 были выполнены только на трёх станциях в Карском море (Амдерма, Сопочная Карга и Новый Порт) и четырех станциях в море Лаптевых.

На протяжении 2019 г. колебания уровня на всех станциях Карского моря, как в его юго-западной, так и в северо-восточной части, происходили на повышенном фоне. Аномалии среднегодового уровня составили +17 см на МГ им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос), +14 см на станции Амдерма, +16 см на станции Усть-Кара, +22 см на станции Новый Порт, +15 см на станции Сопочная Карга, +8 см на станции о. Диксон и +5 см на станции мыс Стерлигова. Стоит отметить, что по сравнению с 2018 г. на некоторых станциях Карского моря отмечались месяцы, когда наблюдалась отрицательная средняя аномалия уровня: например, на станции Сопочная Карга в декабре аномалия уровня составила –20 см (рис. 3.2.1).

В море Лаптевых, на станциях, расположенных на Новосибирских островах, аномалии среднегодового уровня составили +12 см на станции Кигилях, +19 см на станции пр. Санникова и +4 см на станции о. Котельный. Здесь можно отметить явное понижение по сравнению с 2018 г. уровня на станциях Кигилях и пр. Санникова и его повышение на станции о. Котельный.

На станции Анабар (юго-запад моря Лаптевых) с июля по октябрь наблюдались аномально низкие значения уровня (до –128 см), что могло быть связано с инструментальной ошибкой. По этой причине среднегодовая аномалия уровня здесь

составила +3 см (в 2018 г. +22 см). Без учета аномально низких значений в летние месяцы среднегодовое значение здесь составило +35 см.

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 2019 г. сезонные колебания уровня в целом были близки к типичным, однако в некоторых случаях отмечались существенные отклонения.

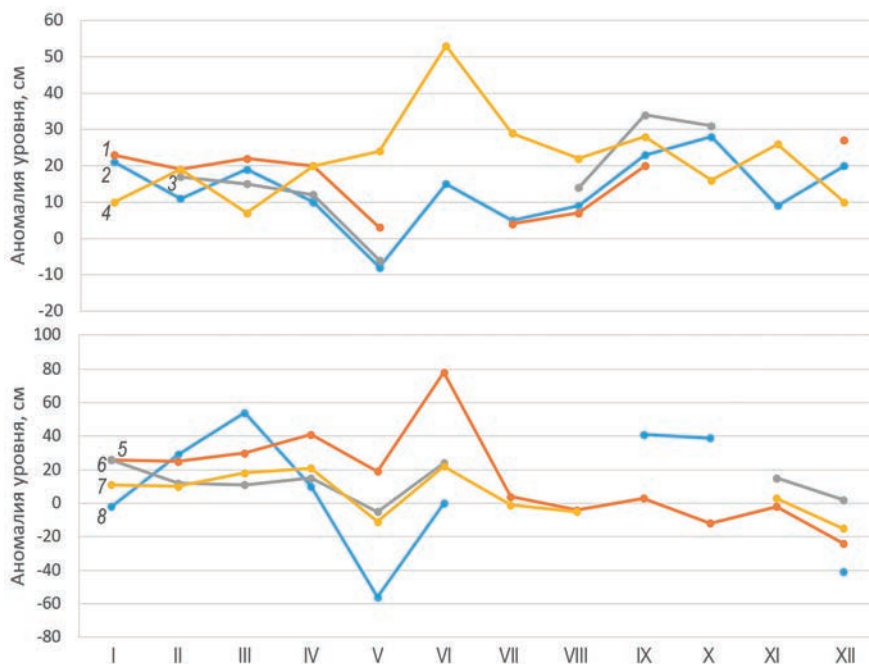


Рис. 3.2.1. Изменения среднесуточного значения уровня на станциях Карского моря в 2019 г. 1 — Усть-Кара, 2 — Амдерма, 3 — им. Е.К. Федорова (бывш. Мыс Болванский Нос), 4 — Новый Порт, 5 — Сопочная Карга, 6 — им. Е.К. Федорова (бывш. Мыс Челоскина), 7 — м. Стерлигова, 8 — о. Диксон

В Карском море на станциях Амдерма, Усть-Кара и им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос) (см. рис. 3.2.1) с января по май отмечалось постепенное понижение уровня. В мае аномалия уровня достигла минимальных значений и опустилась ниже нуля. Затем вплоть до октября на всех трех станциях наблюдалось повышение уровня. В октябре на станциях Амдерма и им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос) аномалия уровня достигла максимального значения — +30 см. Далее вновь началось постепенное понижение уровня. Именно на перечисленных выше трех станциях в течение 2019 г. годовой ход уровня был близок к типичному.

На станциях Сопочная Карга и Новый Порт сезонные колебания уровня характеризуются максимальными значениями в июне, связанными с прохождением весеннего паводка на реках Оби и Енисей. На станции Новый Порт среднесуточная аномалия уровня в июне составила +53 см, а на станции Сопочная Карга +78 см

при максимальных значениях +73 и +132 см соответственно. До и после июньского максимума аномалия уровня на станции Новый Порт изменялась от +10 до +30 см. На станции Сопочная Карга с января по май аномалия уровня изменялась от +20 до +40 см. С июля по декабрь на станции происходило заметное понижение уровня, и к концу года он опустился ниже средних многолетних значений (октябрь —12 см, ноябрь —2 см, декабрь —24 см).

На станции о. Диксон, как и в 2018 г., в марте наблюдалось довольно высокое значение уровня моря (+54 см), а в мае аномалия уровня составила –56 см, что являлось минимальным значением в году. В сентябре и октябре аномалия уровня достигала +40 см, а в декабре средний уровень на этой станции опустился на 40 см ниже среднего многолетнего значения.

Отсутствие необходимого 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 на станции Анабар (рис. 3.2.2) колебания уровня происходили на повышенном фоне в пределах от +30 до +40 см. В июле — октябре произошло резкое падение уровня до среднемесячного значения –80 см (в августе). При этом очень часто абсолютное значение аномалии уровня здесь достигало своего минимума, равного –128 см. В 2017—2018 гг. в июле — октябре среднемесячные значения здесь также опускались ниже средних многолетних, но не настолько существенно (–10 см). А в 2016 г. в эти месяцы аномалия уровня имела положительный знак. Если говорить о данных за весь период наблюдений на станции (с 1991 г.), то абсолютный минимум среднемесячных значений уровня здесь наблюдался в мае 2002 г. и составил –52 см. На основе этих данных можно предположить, что столь резкое понижение уровня на станции Анабар летом 2019 г. не соответствует реальности и связано с какой-либо инструментальной ошибкой.

В восточной части моря Лаптевых в районе Новосибирских островов (см. рис. 3.2.2) с января по май уровень моря постепенно понижался. На всех трех расположенных здесь станциях в мае наблюдалось минимальное среднемесячное значение уровня. Затем с мая по июль происходил подъем уровня. На станции

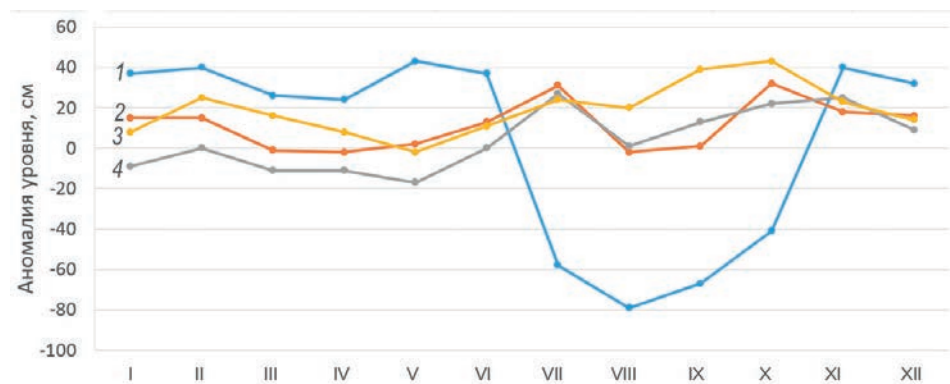


Рис. 3.2.2. Изменения среднемесячного уровня на станциях моря Лаптевых в 2019 г.

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

Пролив Санникова повышение уровня продолжалось вплоть до октября (+43 см), тогда как на станциях мыс Кигилях и остров Котельный уровень опустился практически до среднего многолетнего значения. В ноябре и декабре на всех трех станциях среднемесячные значения уровня были практически равны.

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 в 2019 г.

Так же как в и последние несколько лет, в 2019 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. В 2018 г. особо стоит отметить сгонно-нагонные колебания в начале и в конце года.

В 2019 г. на акватории Карского моря максимум сгонно-нагонных колебаний наблюдался в разное время в зависимости от района, где размещена та или иная станция. В юго-западной части моря по данным станций им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос), Амдерма и Усть-Кара два наиболее значительных сгона произошли в первой половине года: 5—8 февраля (до –68 см) и 12—14 мая (до –57 см). Высокие нагоны в этой части Карского моря в 2019 г. наблюдались несколько раз. Среди них стоит отметить нагон на всех трех станциях 25—27 февраля (до +84 см), на станциях им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос) и Амдерма 29 октября (до +86 см) и на станциях Амдерма и Усть-Кара 30—31 декабря (до +85 см).

Так же как и на юго-западе, значительный подъем уровня моря наблюдался в конце февраля на станциях Сопочная Карга (+93 см), Диксон (+77 см) и мыс Стерлигова (+93 см), расположенных на востоке Карского моря. Кроме того, здесь стоит отметить нагоны в конце марта (до +84 см) и 20—21 октября (до +94 см). Наиболее сильный и продолжительный сгон в этой части Карского моря наблюдался в период со 2 по 10 декабря, когда уровень здесь опустился на 90 см ниже средней многолетней отметки.

На станции Новый Порт в Обской губе максимальный нагон наблюдался в конце августа и начале сентября (+84 см), а максимальный сгон — 3 октября (–51 см).

На станции Анабар в западной части моря Лаптевых наибольший сгон (–45 см) наблюдался 23 ноября (если не брать в расчет данные с июня по октябрь, когда предположительно измерения уровня производились некорректно). Максимальный уровень был зафиксирован 6 июня (+124 см), что, очевидно, связано с весенним паводком, и 26 октября (+115 см).

На Новосибирских островах по данным трех станций максимальный нагон наблюдался в сентябре и октябре. Аномалия уровня моря достигала +85 см на станции мыс Кигилях, +69 см на станции пролив Санникова и +73 см на станции остров

Котельный. Максимальный сгон на этих станциях наблюдался в разные периоды года: в январе на станции остров Котельный (–70 см), в сентябре на станции мыс Кигилях (–65 см) и в декабре на станции пролив Санникова (–54 см).

Оценить сгонно-нагонные колебания уровня в Восточно-Сибирском и Чукотском морях на протяжении всего 2019 г. невозможно в связи с тем, что наблюдения там не производились.

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 0,002 до 0,043 см/год при среднем значении 0,017 см/год и среднеквадратической ошибке $\pm 0,121$ см/год.

Таблица 3.2.1

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

Район	Период, годы		
	1950—2019	1950—1985	1985—2019
Юго-запад Карского моря	+0,314 $\pm$ 0,041	+0,002 $\pm$ 0,121	+0,356 $\pm$ 0,073
Восток Карского моря	+0,155 $\pm$ 0,091	+0,006 $\pm$ 0,121	+0,051 $\pm$ 0,121
Новосибирские острова	+0,225 $\pm$ 0,073	+0,043 $\pm$ 0,12	+0,290 $\pm$ 0,095
Среднее	+0,231 $\pm$ 0,069	+0,017 $\pm$ 0,121	+0,232 $\pm$ 0,096

Среднеквадратическое отклонение тренда при этом существенно превышало значение тренда, что однозначно указывало на его незначимость. После 1985 г. характер колебаний уровня на станциях арктических морей существенным образом изменился (рис. 3.2.3). В 1985 г. началось резкое повышение уровня моря, и в конце 1980-х — начале 1990-х годов его колебания происходили на повышенном фоне. Затем наблюдалось понижение уровня моря, и во многих районах арктических морей он даже вернулся к средним значениям. Однако в конце 1990-х — начале 2000-х годов уровень моря вновь стал повышаться и в 2005—2009 гг. достиг наблюдавшихся ранее максимумов и даже превысил их. В 2010 г. уровень моря снова понизился до отметок, близких к средним значениям, после чего вновь началось его повышение, носившее в период 2011—2015 гг. в разных районах арктических морей разный характер.

В юго-западной части Карского моря наблюдалось хорошо выраженное повышение уровня с возвратом к максимумам 2005—2009 гг. В 2013 г. в этом районе был зафиксирован исторический максимум уровня, перекрытый в 2016 г. Затем в 2017 г. уровень незначительно понизился, оставаясь на повышенном фоне. В 2018 и 2019 гг. уровень немного повысился по сравнению с 2017 г.. В восточной части Карского моря тенденции к повышению уровня были выражены слабо и, скорее, имели характер слабых колебаний на повышенном фоне. А в районе Новосибирских островов после подъема уровня моря с максимумом в 2012 г. произошло его резкое понижение 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, а в 2019 г. вновь несколько понизился.

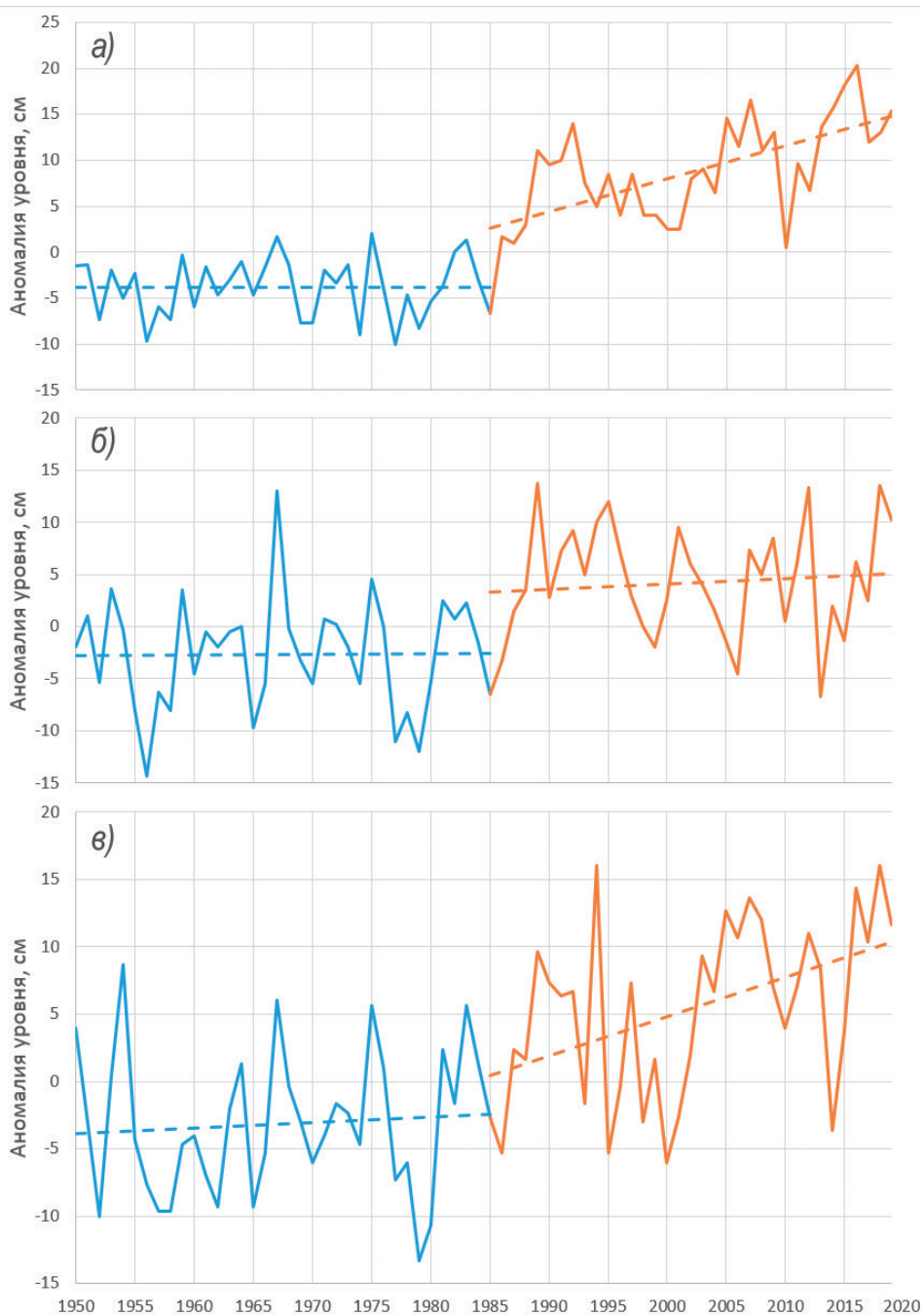


Рис. 3.2.3. Аномалии среднегодового уровня моря на акватории юго-западной (а) и восточной (б) части Карского моря, а также в районе Новосибирских островов (в).

Значение тренда за период 1985—2019 гг. для различных районов арктических морей составило от 0,051 до 0,356 см/год при среднем значении тренда 0,232 см/год и среднеквадратической ошибке $\pm 0,096$ см/год. При этом наиболее значительный тренд был зафиксирован, как и ранее, в юго-западной части Карского моря. Необходимо отметить, что в связи с некоторым понижением уровня в 2017 г. уменьшилась и величина линейного тренда.

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. Результаты последних исследований показали, что определенное значение имеют также и геофизические факторы.

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

- на протяжении 2019 г. колебания уровня арктических морей в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения;

- по сравнению с 2018 г. на некоторых станциях в определенные месяцы уровень моря опускался ниже средних многолетних значений;

- 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 2019 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания уровня наблюдались в разное время в зависимости от района наблюдений: в Карском море сильные нагоны зафиксированы в феврале и октябре, а сгоны — в феврале и мае; в море Лаптевых максимальные нагоны наблюдались в сентябре и октябре, а сгоны — в январе, сентябре и декабре;

- в межгодовой изменчивости уровня сохраняется положительная тенденция на всех станциях морей Карского и Лаптевых.

3.3. ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ НА АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Ввиду отсутствия продолжительных инструментальных измерений волнения в арктических морях России обзор ветрового волнения основывается на результатах модельных расчетов и прогнозов. Мониторинг ветрового волнения 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 Брэкнелл (EGRR, Великобритания) в ААНИИ в центр коммутации сообщений (ЦКС UNIMAS) автоматизированной си-

стемы 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 сплоченности 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. Сведения о распределении величины H_s для Баренцева моря приведены в табл. 3.3.1, для Карского моря — в табл. 3.3.2, для акватории морей восточной части Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского) — в табл. 3.3.3 — 3.3.5.

Баренцево море

Из табл. 3.3.1 видно, что на акватории Баренцева моря в 2019 г. преобладало волнение с высотой волн от 3 до 4 м (31 % случаев). Число случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составило в 2019 г. 9 %. Это значение ниже по сравнению с 2018 г. (2007 г. — 30 %, 2008 г. — 27 %, 2009 г. — 24 %, 2010 г. — 23 %, 2011 г. — 16 %, 2012 г. — 13 %, 2013 г. — 10 %, 2014 г. — 8 %, 2015 г. — 15 %, 2016 г. — 11 %, 2017 г. — 13 %, 2018 г. — 13 %).

Таблица 3.3.1

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s) в Баренцевом море в 2019 г.

Месяц	Высота волн, м									
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10
Январь	—	—	9	11	2	3	4	1	—	1
Февраль	—	1	5	12	7	3	—	—	—	—
Март	—	1	9	7	6	5	—	1	1	1
Апрель	—	6	7	10	6	1	—	—	—	—
Май	—	7	6	11	6	1	—	—	—	—
Июнь	—	6	13	7	4	—	—	—	—	—
Июль	—	13	7	11	—	—	—	—	—	—
Август	—	11	13	4	3	—	—	—	—	—
Сентябрь	—	1	12	12	5	—	—	—	—	—
Октябрь	—	4	6	13	5	3	—	—	—	—
Ноябрь	—	6	8	6	8	1	—	—	—	1
Декабрь	—	3	4	9	8	4	2	—	1	—
Итого за год	—	59	99	113	60	21	6	2	2	3

Наиболее штормовым месяцем в Баренцевом море в 2019 г. стал январь. Число штормовых дней с высотой волн более 5 м в январе составило девять. Максимальная высота волн в Баренцевом море была рассчитана на 18 ч UTC 11 января 2019 г. и составила более 9,5 м, т. е. была на метр меньше, чем в 2018 г. Продолжительность шторма составила три дня (с 10 по 12 января).

Следующим по штормовой активности стал март (восемь дней) с максимальной высотой волны на входе в Баренцево море более 9,0 м (22 марта на 12 и 18 ч UTC). Наиболее продолжительный штормовой период в марте составил пять дней

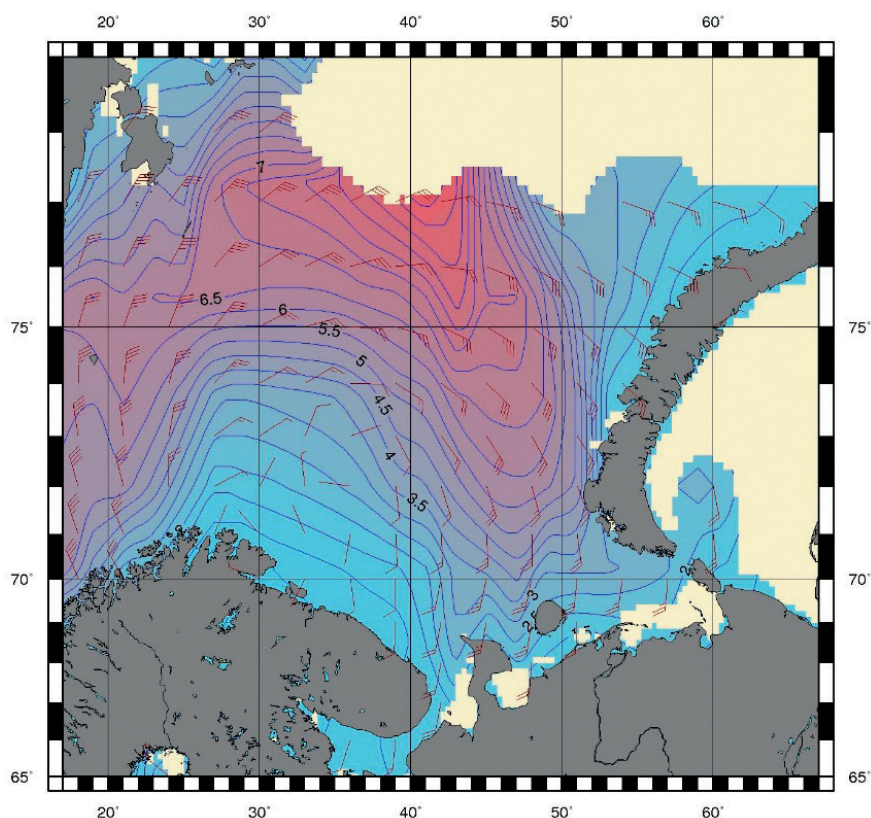


Рис. 3.3.1. Поле ветра и высоты волн (H_s , м) в Баренцевом море 11 января 2019 г. на 18 ч UTC.

(с 27 по 31 марта, высота волн на входе в Баренцево море 29 марта в 12 и 18 ч UTC превысила 7,0 м).

На рис. 3.3.1 в качестве примера приведено поле ветра и высоты волн H_s на акватории Баренцева моря на 18 ч UTC 11 января 2019 г.

Карское море

В Карском море в начале января 2019 г. было две области чистой воды: на юго-западе у пролива Карские Ворота и к северо-востоку от арх. Новая Земля. При этом на свободной от льда акватории Карского моря в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот до 2 м. Юго-западная область оставалась открытой до 20 января, а затем море полностью покрылось льдом.

Карское море стало открываться в конце мая, т. е. на месяц раньше по сравнению с 2018 г.

Как видно из табл. 3.3.2, в Карском море в 2019 г. в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 1 до 2 м (36 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал октябрь. Максимальная высота волн составила более 4,5 м (на 12 ч UTC 3 октября) и шесть раз было рассчитано волнение с высотой волн более 4,0 м. Следующим по штормовой активности стал сентябрь (высота волн более 4,0 м на 18 ч UTC 10 сентября и на 00 ч UTC 11 сентября).

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
в Карском море в 2019 г.**

Месяц	Высота волн, м				
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5
Январь (до 20 января)	6	7	5	1	—
Май (с 20 мая)	11	1	—	—	—
Июнь	17	13	—	—	—
Июль	—	23	8	—	—
Август	1	14	15	1	—
Сентябрь	—	7	12	9	2
Октябрь	—	5	11	8	7
Ноябрь	15	11	3	1	—
Декабрь (до 15 декабря)	13	1	—	—	—
Итого	63	82	54	20	9

Море полностью очистилось от льда в конце августа. При этом граница области чистой воды достигала параллели 83° с.ш.

В конце октября Карское море стало быстро зарываться в восточной части, и к началу ноября открытой оставалась юго-западная часть моря между п-овом Ямал и арх. Новая Земля. В середине декабря Карское море закрылось.

На рис. 3.3.2 в качестве примера приведено поле ветра и высоты волн H_s на акватории Карского моря на 18 ч UTC 10 сентября 2019 г.

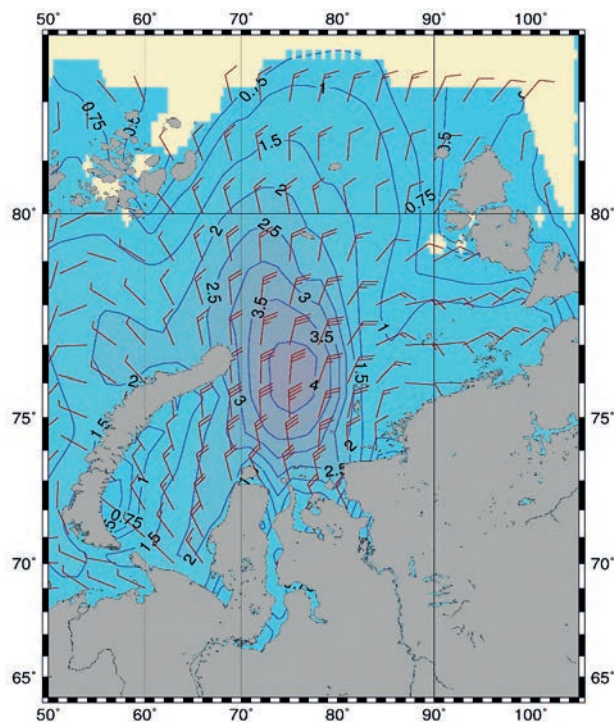


Рис. 3.3.2. Поле ветра и высоты волн (H_s , м) в Карском море на 18 ч UTC 10 сентября 2019 г.

Моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское

Поскольку большую часть года моря восточной части Арктики покрыты льдом, в табл. 3.3.3 — 3.3.5 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. 3.3.3 — 3.3.5, в морях восточной части Арктики в 2019 г. преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (39, 42 и 31 % соответственно).

Таблица 3.3.3

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
в море Лаптевых в 2019 г.**

Месяц	Высота волн, м				
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5
Июнь	16	9	5	—	—
Июль	3	17	11	—	—
Август	—	24	7	—	—
Сентябрь	—	3	17	9	1
Октябрь	1	7	12	10	1
Итого	20	60	52	19	2

Таблица 3.3.4

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
на акватории Восточно-Сибирского моря в 2019 г.**

Месяц	Высота волн, м				
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5
Июль (с 20 июля)	1	10	1	—	—
Август	3	24	4	—	—
Сентябрь	—	6	16	7	1
Октябрь	—	4	15	8	4
Итого	4	44	36	15	5

Таблица 3.3.5

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s)
в Чукотском море в 2019 г.**

Месяц	Высота волн, м					
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6
Май	15	15	1	—	—	—
Июнь	18	10	2	—	—	—
Июль	8	12	6	5	—	—
Август	—	21	8	2	—	—
Сентябрь	—	4	19	6	1	—
Октябрь	—	—	10	13	6	2
Ноябрь	—	3	9	7	4	7
Декабрь (до 24.12)	2	9	6	4	2	1
Итого	43	74	61	37	13	10

Наиболее штормовыми месяцами для моря Лаптевых стали сентябрь и октябрь, для Восточно-Сибирского моря — октябрь, а для Чукотского моря — ноябрь.

Наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых составила более 4,0 м (на 06, 12 и 18 ч UTC 22 сентября и на 06 и 12 ч UTC 24 октября), что на 1,5 м ниже, чем в 2018 г.

Наибольшая расчетная высота волн в Восточно-Сибирском море составила более 4,5 м (на 00 ч UTC 11 октября, на 18 ч UTC 29 октября и на 00 и 06 ч UTC 30 октября).

Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила более 5,5 м (на 12 ч UTC 30 октября, на 18 ч UTC 22 ноября, на 18 ч UTC 26 ноября и на 00 ч UTC 28 ноября).

Море Лаптевых стало открываться в конце мая — начале июня. В конце мая к западу от Новосибирских островов у зоны припая образовалась область чистой воды, которая постепенно расширялась и к концу июня заняла обширную часть моря в широтной зоне 74—79°. Море Лаптевых полностью освободилось от льда к концу августа, и к середине сентября область чистой воды в море Лаптевых достигла параллели 83° с. ш. В начале ноября море закрылось.

Восточно-Сибирское море начало открываться в третьей декаде июля и полностью освободилось от льда в первой декаде сентября. К середине сентября область чистой воды в Восточно-Сибирском море доходила до параллели 81° с.ш. В третьей декаде октября море стало быстро закрываться и в начале ноября закрылось полностью.

Чукотское море стало открываться в начале мая. К концу июня область чистой воды доходила до параллели 72° с. ш., в конце августа она распространилась до 77° с.ш., а к концу сентября — до 78° с. ш. В конце октября Чукотское море стало постепенно закрываться и полностью покрылось льдом в третьей декаде декабря.

На рис. 3.3.3 в качестве примера приведено поле ветра и высоты волн H_s для морей восточной части Арктики на 06 ч UTC 19 сентября 2019 г.

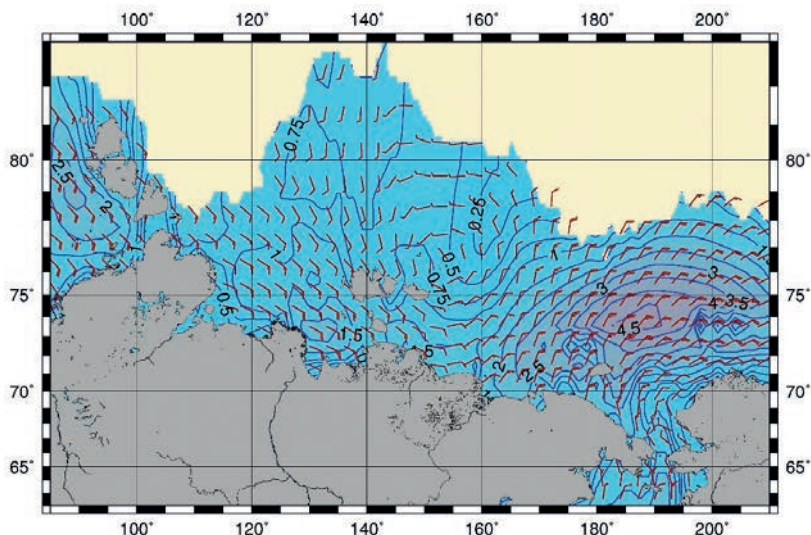


Рис. 3.3.3. Поля ветра и высоты волн (H_s , м) в морях восточной Арктики на 06 ч UTC 19 сентября 2019 г.

Выводы

Анализ результатов модельных расчетов значительных высот волн ветрового волнения (H_s) за 2019 г. на акватории арктических морей России показал следующее.

В Баренцевом море преобладало волнение с высотой волн от 3 до 4 м (31 % случаев). Число случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составило в 2019 г. 9 %. Наиболее штормовым месяцем в Баренцевом море в 2019 г. стал январь. Максимальная высота волн в Баренцевом море (более 9,5 м) была рассчитана на 18 ч UTC 11 января 2019 г. Продолжительность шторма составила три дня (с 10 по 12 января).

В Карском море в 2019 г. в большинстве случаев развивалось волнение с высотой волн от 1 до 2 м (36 % случаев). Наиболее штормовым месяцем стал октябрь. Максимальная высота волн составила более 4,5 м (на 12 ч UTC 3 октября). Море полностью очистилось от льда в конце августа, при этом граница области чистой воды доходила до параллели 83° с. ш. В конце октября Карское море стало зарываться и полностью покрывалось льдом в середине декабря.

В море Лаптевых в основном преобладало волнение с высотами от 1 до 2 м (39 % случаев), наиболее штормовыми месяцами стали сентябрь и октябрь, а наибольшая расчетная высота волн составила более 4,0 м. Море Лаптевых стало открываться в конце мая — начале июня, а к середине сентября область чистой воды доходила в море Лаптевых до 83° с.ш. В начале ноября море закрылось.

В Восточно-Сибирском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (42 % случаев). Наиболее штормовым стал октябрь, наибольшая расчетная высота волн составила более 4,5 м. Восточно-Сибирское море начало открываться в третьей декаде июля и полностью освободилось от льда в первой декаде сентября. К середине сентября область чистой воды в Восточно-Сибирском море достигала параллели 81° с. ш. В третьей декаде октября море стало быстро закрываться и в начале ноября закрылось полностью.

В Чукотском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м (31 % случаев). Наиболее штормовым месяцем для Чукотского моря стал ноябрь, а наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила более 5,5 м. Чукотское море стало открываться в начале мая, а к концу сентября область чистой воды распространилась до 78° с.ш. В конце октября Чукотское море стало постепенно закрываться и полностью покрывалось льдом в третьей декаде декабря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая данные мониторинга развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов и характера их проявления в метеорологических условиях полярного района Арктики за период январь — декабрь 2019 г., можно сделать следующие выводы.

Тенденция к потеплению в высоких широтах, наметившаяся в последние годы, сохраняется. Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха (до 5—6 °С) отмечались в восточном секторе полярного района. Этот сектор внес наибольший вклад в формирование высокого температурного фона полярного района в 2019 г.

Наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха на трассе СМП отмечались в Чукотском море, где повышение температуры по сравнению с предшествующим 2018 г. составило 0,9 °С. Наиболее значительное понижение температурного фона на трассе СМП было отмечено в Баренцевом море.

Генеральная ложбина исландского минимума была направлена на южные районы акватории Баренцева и Карского морей. Циклоны в системе исландского минимума смещались в Арктику чаще по более низкоширотным по сравнению с нормой траекториям, что способствовало формированию положительных среднегодовых значений аномалии давления в западном и приполюсном районах Арктики.

Циклоны в системе алеутского минимума смещались в восточную Арктику чаще по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям, что способствовало формированию отрицательных среднегодовых значений аномалии давления в восточном районе Арктики.

Позднее начало ледообразования в осенний период 2018 г. и невысокая его интенсивность привели к отставанию в развитии возрастного состава ледяного покрова. Это проявилось во всех арктических морях, особенно в Баренцевом, Карском и Чукотском.

В марте однолетних толстых льдов не наблюдалось в Карском море, в центральной и южной частях морей Лаптевых и Чукотском, что не типично для данных акваторий.

Становление припая вдоль арктического побережья всех арктических морей и в их проливах происходило крайне медленно. Однако толщина припайного льда по данным полярных станций зимой 2019 г. увеличивалась достаточно интенсивно и приблизилась к своему среднему многолетнему значению в ряде районов: северо-восточной части морей Карского и Лаптевых, западной части Восточно-Сибирского моря и юго-западной части Чукотского моря. Из-за постоянного выноса льдов из моря Лаптевых не установился припай на восточных подходах к проливу Вилькицкого со стороны моря Лаптевых. В весенний период в поле сплоченности ледяного покрова хорошо проявились зоны заприпайных полыней и сформировавшихся разрывов в морях Чукотском и Бофорта.

Динамику дрейфа льда в 2019 г. характеризуют наблюдавшиеся в апреле две развитые структуры — Трансарктический перенос и Канадский антициклонический круговорот, а также сменивший их в мае хорошо развитый гигантский меридио-

нальный перенос со стрежнем, смещенным к северной границе российских арктических морей.

В июне началось чрезвычайно быстрое очищение окраинных морей западного и восточного районов российского сектора Арктики — Баренцева, Карского, Лаптевых и Чукотского.

Развитие ледовых условий в СЛО и его морях в летний период началось на очень благоприятном фоне. В ряде районов арктических морей — в северной части Баренцева моря, в заприпайном районе моря Лаптевых, вдоль побережья Аляски в море Бофорта и в Чукотском море — сформировались обширные разряжения с чистой водой, которые послужили очагами дальнейшего интенсивного очищения от льда.

Характерной чертой осеннего ледообразования 2019 г. также являлось его позднее начало и медленное развитие.

Толщина льда в устьевых участках крупных арктических рек на момент максимального нарастания льда в основном была меньше нормы, однако в устье реки Оленёк (п. Тюмети), в устьевой части рек Яны и Енисей толщина льда значительно превышала средние многолетние значения: на 15, 36 и 18 см соответственно.

Распределение солёности поверхностного слоя характеризуется наличием выраженной отрицательной аномалии в Амеразийском суббассейне, которая в течение года изменялась от $-2,3\%$ (первый квартал) до $-3,1\%$ (второй и третий кварталы). Сохраняется положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ), значение которой в Канадской глубоководной котловине составило $+0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (первый и второй кварталы), $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (третий квартал). Летние тихоокеанские воды, так же как и АВ, характеризуются повышенной температурой, превышающей климатическое среднее на $1,5\text{—}1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура поверхностного слоя во всех российских арктических морях в 2019 г. превышала климатическую норму: превышение составило от $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Восточно-Сибирском море до $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в Чукотском море. Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод, значение которой в 2019 г. в Баренцевом море составило $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в море Лаптевых $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Также стоит отметить наличие положительной аномалии придонной температуры, изменяющейся в пределах от $0,3$ до $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На протяжении 2019 г. колебания уровня арктических морей в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения. В 2019 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания уровня отмечались в разных районах наблюдений в разное время: в Карском море сильные нагоны зафиксированы в феврале и октябре, а сгоны — в феврале и мае; в море Лаптевых максимальные нагоны наблюдались в сентябре и октябре, а сгоны — в январе, сентябре и декабре.

В Баренцевом море расчетная повторяемость волн высотой более 5 м была самой низкой за последние пять лет. В морях Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском преобладали волны высотой 1—2 м (более 30 %).