

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



Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический научно-
исследовательский институт

ОБЗОР

гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане

II квартал 2021





СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	3
1 Метеорологические условия в северной полярной области	4
1.1 Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов и метеорологические условия северной полярной области с апреля по июнь 2021 г.	4
1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области.....	17
2 Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях с апреля по июнь 2021 г.....	27
2.1 Развитие ледовых условий за период с апреля по июнь.....	27
2.2 Ледово-гидрологические процессы в устьевых областях рек в весенний период	44
3 Гидрологические и гидрохимические условия Северного Ледовитого океана и его морей с апреля по июнь 2021 г.....	51
3.1 Термохалинные условия.....	51
3.2 Уровень арктических морей.....	54
3.3 Ветровое волнение на акватории арктических морей во 2 квартале 2021 г.	61



ВВЕДЕНИЕ

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях во 2 квартале 2021 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 и научной обсерватории «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 лабораторий метеорологии (ответственный — зав. лабораторией канд. геогр. наук В.Ф. Радионов) и 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 И.М. Фильчук К.В.).

Общее руководство подготовкой обзора осуществлялось директором ААНИИ, д-ром геогр. наук А.С. Макаровым.

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



1 Метеорологические условия в северной полярной области

1.1 Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов и метеорологические условия северной полярной области с апреля по июнь 2021 г.

В данном разделе приводятся основные результаты мониторинга атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба и метеорологических условий в полярном районе Северного полушария за период с апреля по июнь 2021 г.

Анализ и оценка тенденций развития процессов в первом квартале проводился с учетом процессов за предшествующий период, особенности которого более подробно были представлены ранее.

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

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

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

Реальное состояние крупномасштабной циркуляции в атмосфере и метеорологические условия в полярном районе Арктики каждого конкретного года существенно отличаются друг от друга и от среднего многолетнего состояния (нормы), что



указывает на существование большого числа вариантов конкретных реализаций ОЦА в отдельных локальных районах Арктики. Несмотря на сложность взаимосвязей между элементами макроструктуры, множественность их возможных состояний и сочетаний, в эволюции макросиноптических процессов всегда имеется возможность выявить ряд существенных особенностей, определяющих тенденцию их развития.

В результате мониторинга процессов различного пространственно-временного масштаба с апреля по июнь 2021 г. были выявлены следующие особенности их развития.

Фоновые особенности развития крупномасштабных атмосферных процессов за второй квартал 2021 г. представлены в таблице 1.1.1 в виде среднемесячных значений числа дней с основными формами и типами циркуляции по классификациям Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирса и карт средних полей геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, приземного давления и температуры воздуха и их аномалий.

Таблица. 1.1.1

Значения числа дней с формами и типами циркуляции и их отклонения от нормы в период с апреля по июнь 2021 г.

Показатель	Индексы циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	W	C	E	З	M ₁	M ₂
Число дней	11	29	51	9	53	29
Аномалия	-17	0	17	-19	20	-1

За период с апреля по июнь 2021 г. повторяемость атмосферных процессов восточной (Е) формы циркуляции превысила норму на 17 дней. Во втором секторе меридиональные процессы типа M₁ превысили норму на 20 дней.

Анализ процессов показал, что в период с апреля по июнь 2021 г. выделяется ряд естественных стадий с однонаправленным развитием крупномасштабных атмосферных процессов.

Ход среднемесячных значений аномалий числа дней с основными формами и типами циркуляции атмосферы в период с апреля по июнь 2021 г. представлен на рисунке 1.1.1.

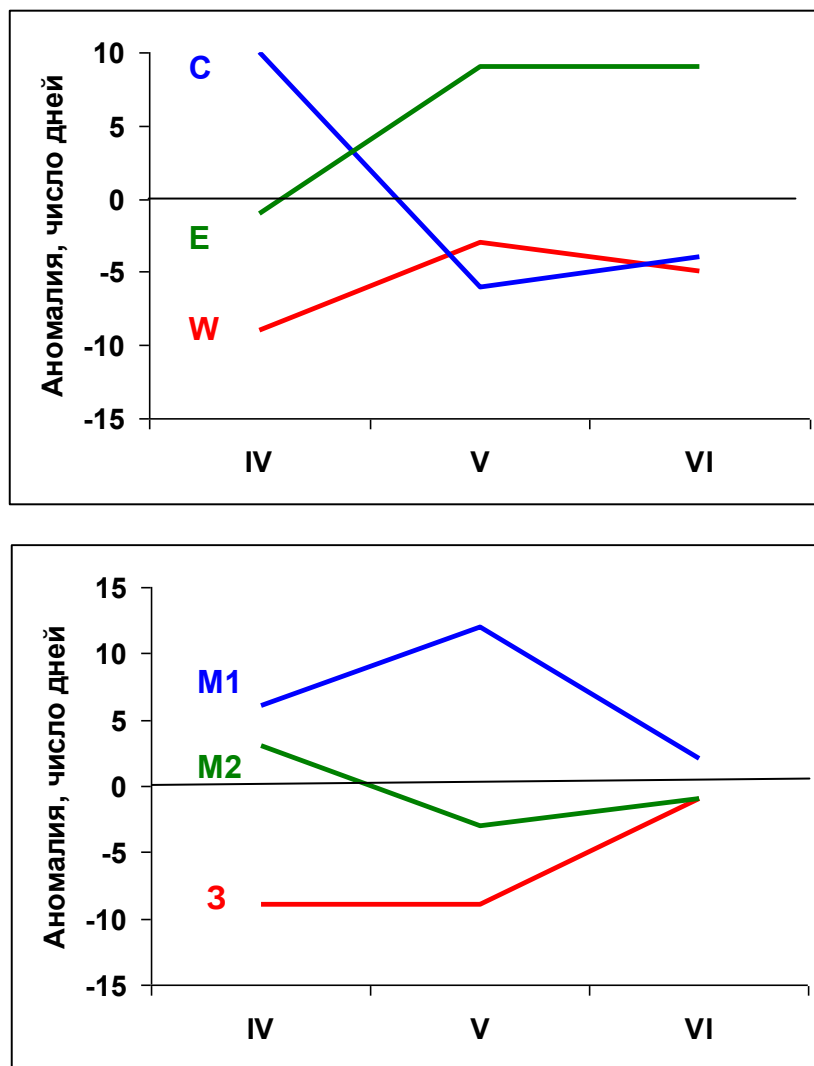


Рис. 1.1.1 Ход среднемесячных значений аномалий числа дней с основными формами и типами циркуляции атмосферы в период с апреля по июнь 2021 г.

W – западная форма, E – восточная форма, C – меридиональная форма,
3 – зональный тип, M₁ – первый меридиональный тип, M₂ – второй меридиональный тип

Схема развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов в Северном полушарии с апреля по июнь 2021 г. выглядит следующим образом:

Апрель – C_{M1+M2} → Май – E_{M1} → Июнь – E_{M1}

Отмеченные тенденции в перестройках крупномасштабных атмосферных процессов Северного полушария нашли свое отражение в изменении метеорологических условий каждого месяца в полярном районе Арктики.

В период с апреля по июнь под влиянием циклонов Северной Атлантики фон давления в полярном районе сформировался ниже нормы. Наиболее активная циклоническая деятельность наблюдалась в июне. Фон давления с отрицательными аномалиями давления резко понизился до значений 11 гПа.



Изменения средних месячных значений аномалий давления от месяца к месяцу в центральном полярном районе Арктики представлены на рисунке 1.1.2.

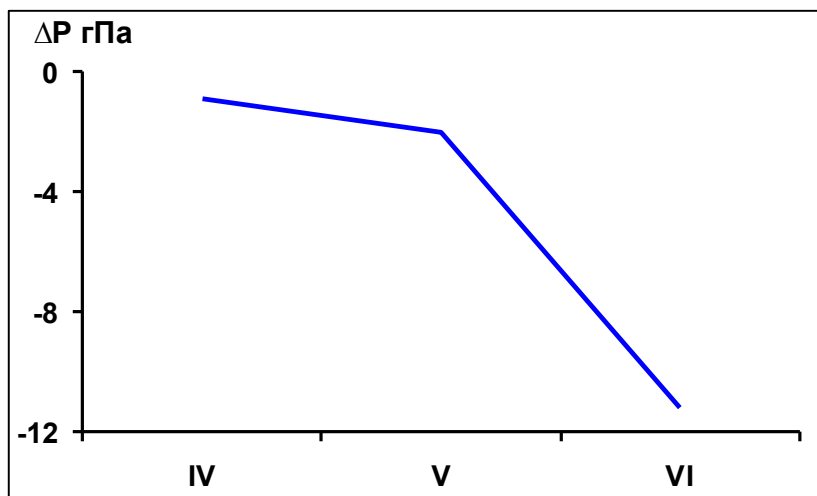


Рис. 1.1.2 Средние месячные значения аномалий давления (гПа) в апреле — июне 2021 г. в полярном районе Арктики

В течение второго квартала 2021 г. фон температуры над полярным районом сохранялся аномально высоким. Наиболее высокие аномалии температуры до значений 5 °С отмечались в апреле. При перестройке в направленности атмосферных процессов фон температуры понизился до значений аномалий 2 – 3 °С. Изменения в апреле — июне 2021 г. среднемесячных значений аномалий температуры по полярному району представлены на рисунке 1.1.3.

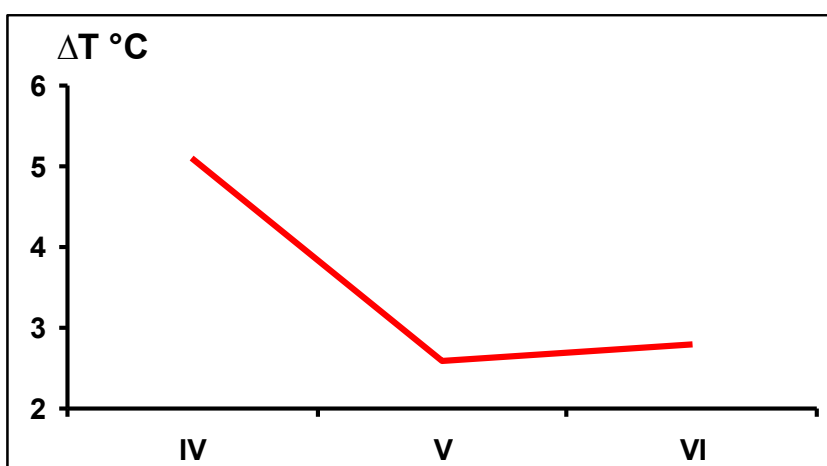


Рис. 1.1.3 Средние месячные аномалии температуры воздуха (°C) в широтном поясе 70 — 85° с.ш. в апреле — июне 2021г.



По сравнению со вторым кварталом прошлого года в этом году фон температуры в полярном районе понизился на $0,7^{\circ}\text{C}$.

Анализ *структурных особенностей* развития атмосферных процессов во втором квартале 2020 г. проводился по комплексу метеорологических характеристик (основных форм и типов циркуляции и их разновидностей, направлению воздушных потоков, давлению и температуры воздуха и их аномалии) за различные периоды осреднения, как календарные, так и по естественным стадиям перестройки процессов различного временного масштаба.

Более подробно основные особенности развития атмосферных процессов в апреле — июне 2021 г. и их влияние на структуру термобарических полей в отдельных районах Арктики представлены ниже.

Значения приземного давления и температуры представлены на рисунках в виде полей среднего месячного давления и температуры и их аномалий.

В *апреле 2021 г.* центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на изобарической поверхности 500 гПа находился в приполюсном районе близко к своему среднему многолетнему положению (рис. 1.1.4).

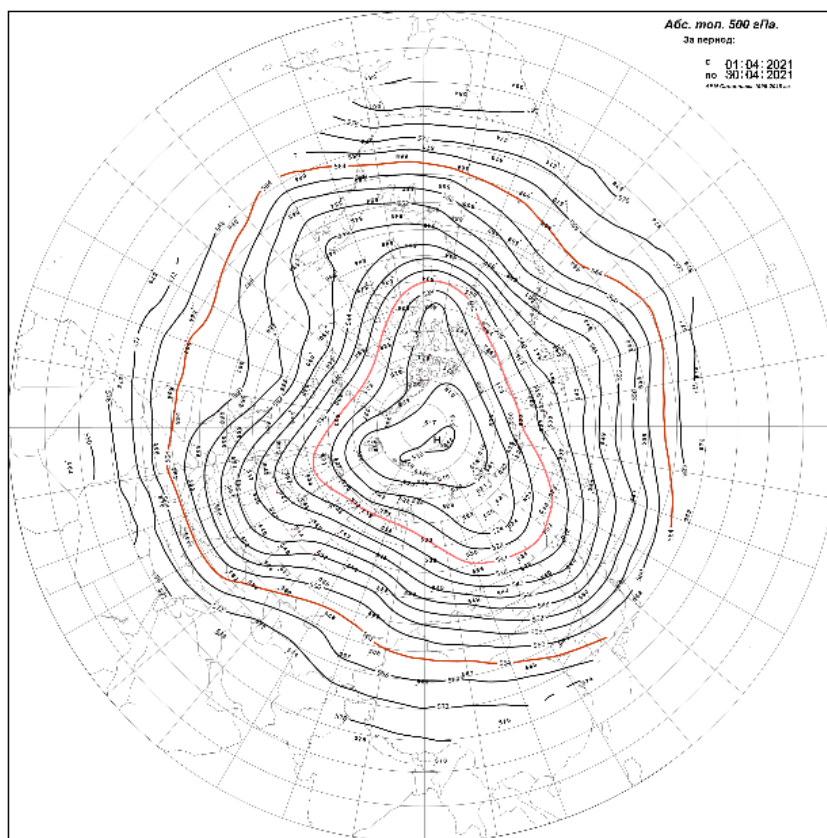


Рис. 1.1.4 Поля среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в апреле 2021 г.

В первом (атлантико-евразийском) секторе Северного полушария отмечалась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов меридиональной формы циркуляции. Особенностью данного процесса явилось развитие устойчивого антициклона на Северной Атлантике. Наиболее активная циклоническая деятельность отмечалась над европейской территорией России и полярным районом Арктики, где сформировался фон давления ниже нормы (рис. 1.1.5).

В западном секторе Арктики при воздушных потоках южных направлений с отходами к юго-западу преобладала адвекция теплых воздушных масс. В среднем за месяц фон температуры выше нормы до 5 – 7 °С (рис. 1.1.5).

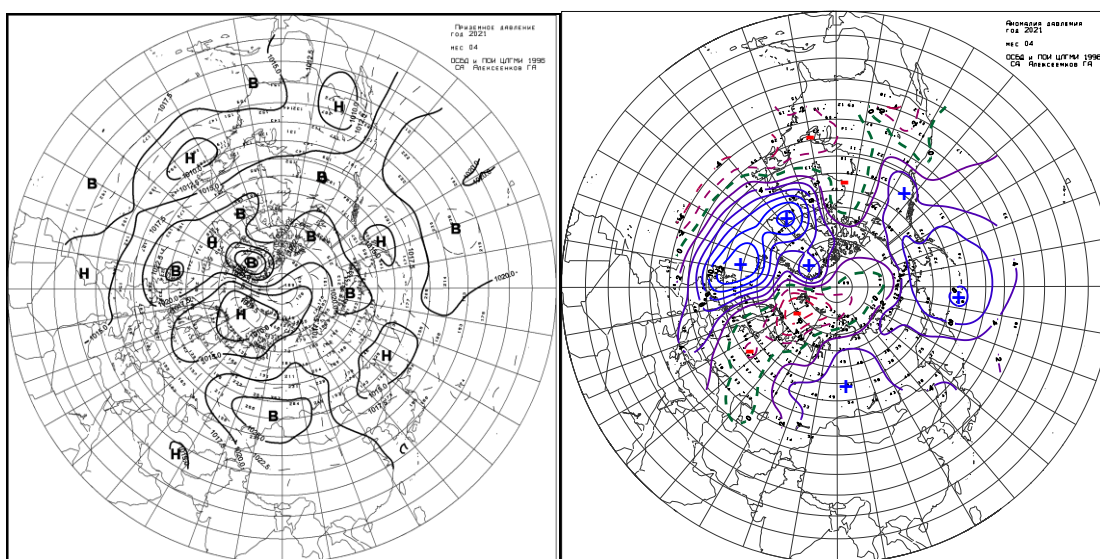


Рис. 1.1.5 Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в апреле 2021 г.(гПа)

Во втором (тихоокеано-американском) секторе аномально повышенную повторяемость имели меридиональные типы процессов. Характерной особенностью развития атмосферных процессов явилось усиление антициклона над Тихим океаном, который значительно ослабил циклоническую деятельность в системе алеутского минимума.

При преобладающих воздушных потоках юго-восточных и южных направлений с теплого Тихого океана сформировался температурный фон с аномалиями выше нормы на 3 – 6 °С (рис. 1.1.6).

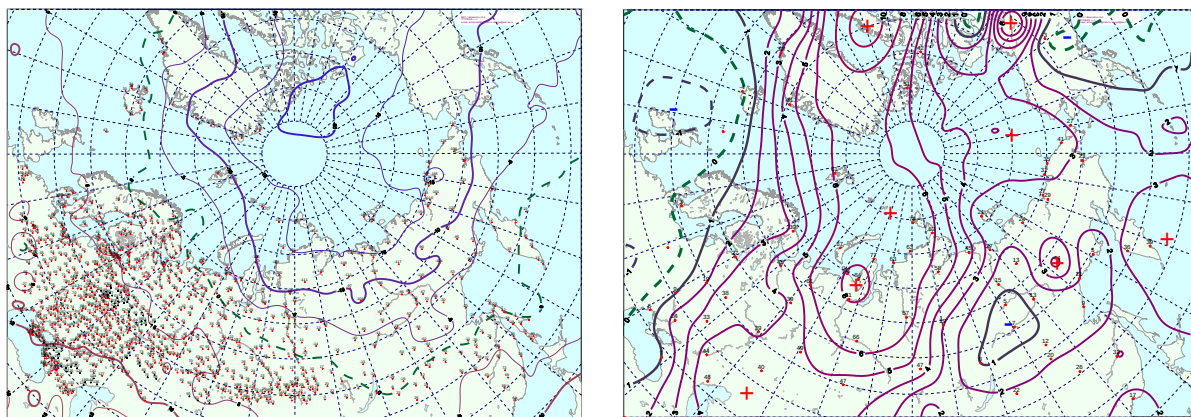


Рис. 1.1.6 Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в апреле 2021 г., (°C)

В *мае 2021 г.* центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа сместился из приполюсного района в район Карского моря, где в приземном поле отмечалась наиболее активная циклоническая деятельность (рис. 1.1.7).

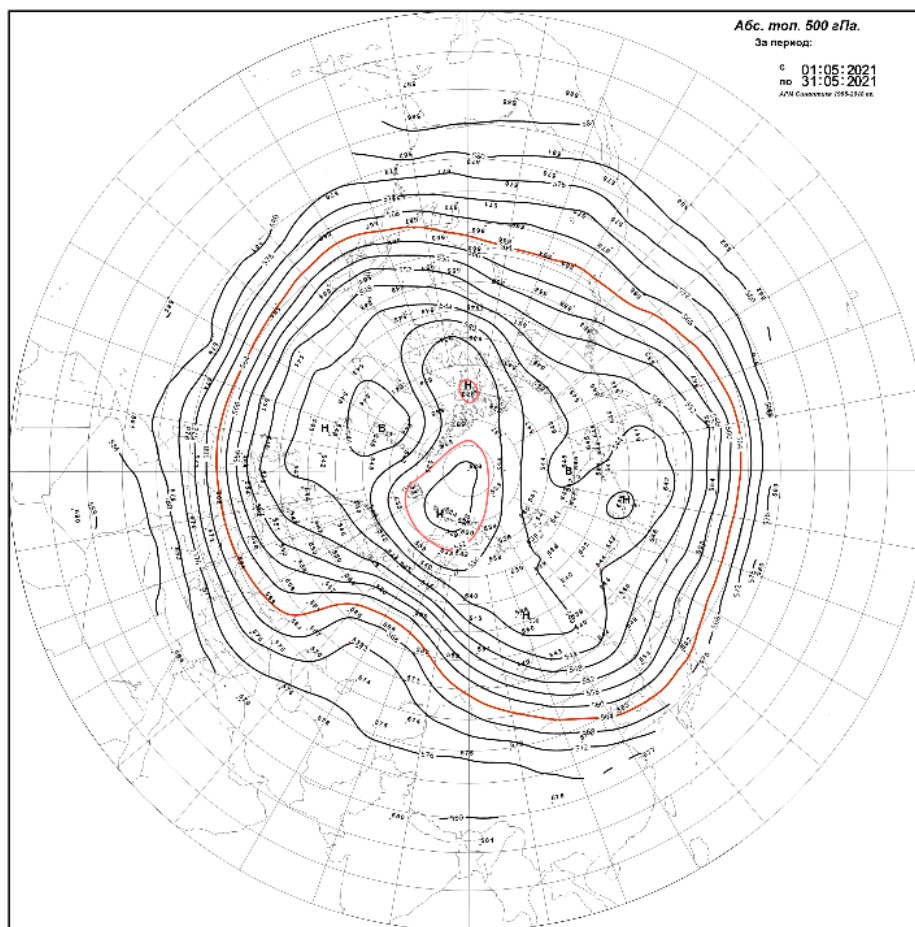


Рис. 1.1.7 Поля среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в мае 2021 г.

В *первом секторе* преобладали атмосферные процессы восточной формы циркуляции.

При усилении с востока гребня континентального антициклона циклоны северной Атлантики смещались через акваторию Баренцева и Карского морей в полярный район. Фон давления в этих районах сформировался выше нормы.

При воздушных потоках юго-западных направлений преобладала адвекция теплых воздушных масс с континента и положительные аномалии температуры до 1 – 3 °С (рис. 1.1.8 и 1.1.9).

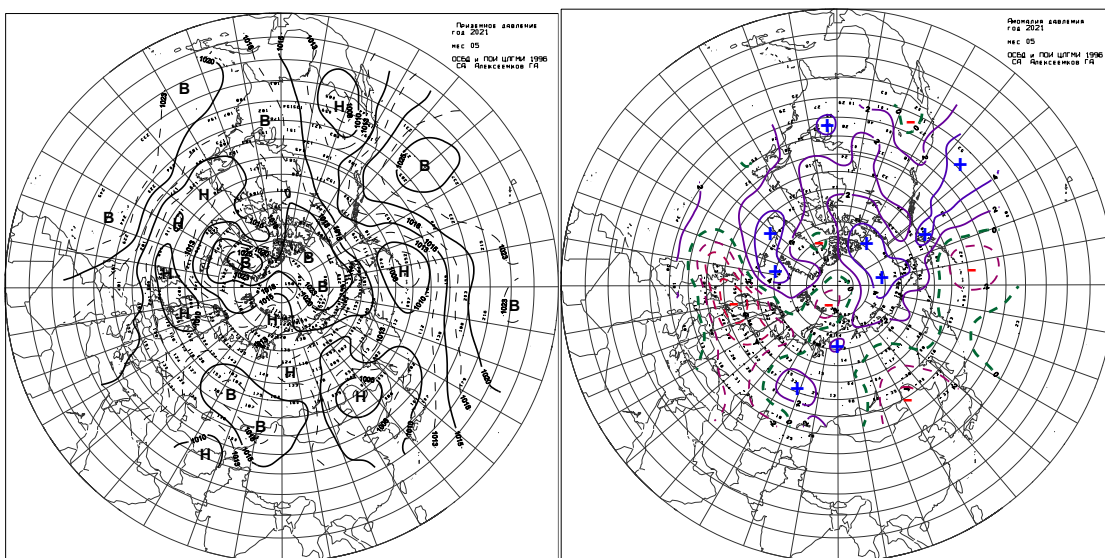


Рисунок 1.1.8 Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в мае 2021 г., (гПа)

Во *втором секторе* наибольшую повторяемость имели крупномасштабные атмосферные процессы типа М₁. Под влиянием арктического антициклона циклоны в системе алеутского минимума смещались, по сравнению с нормой, по низкоширотным траекториям и не оказывали существенного влияния на восточный сектор полярного района Арктики.

При о адвекции теплых воздушных масс с Тихого океана сформировался фон с положительными аномалиями температуры до 2 – 3 °С (рис. 1.1.9).

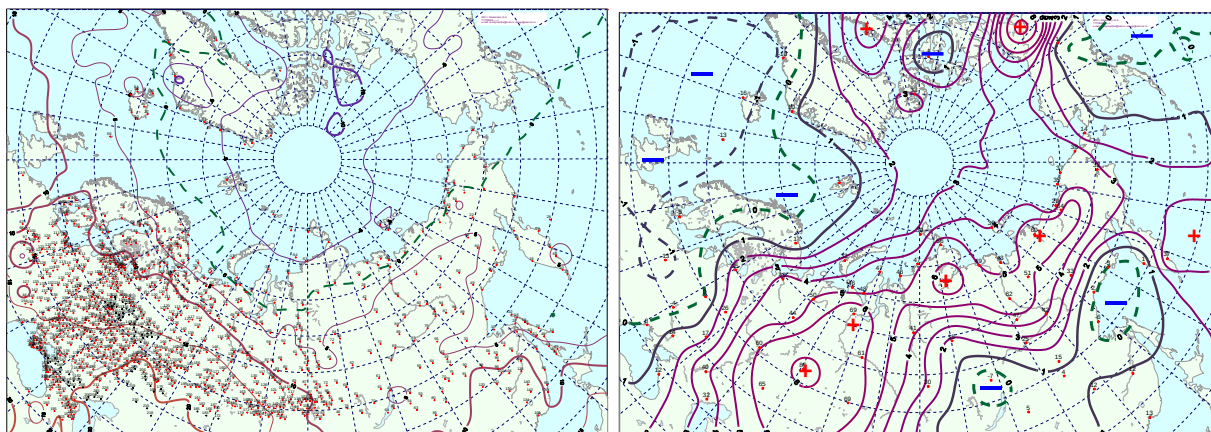


Рис. 1.1.9 Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в мае 2021 г., (°C)

В *июне 2021 г.* основной центр ЦПВ на изобарической поверхности 500 гПа располагался вблизи приполюсного района, под которым в приземном поле сформировался устойчивый циклон (рис. 1.1.10).

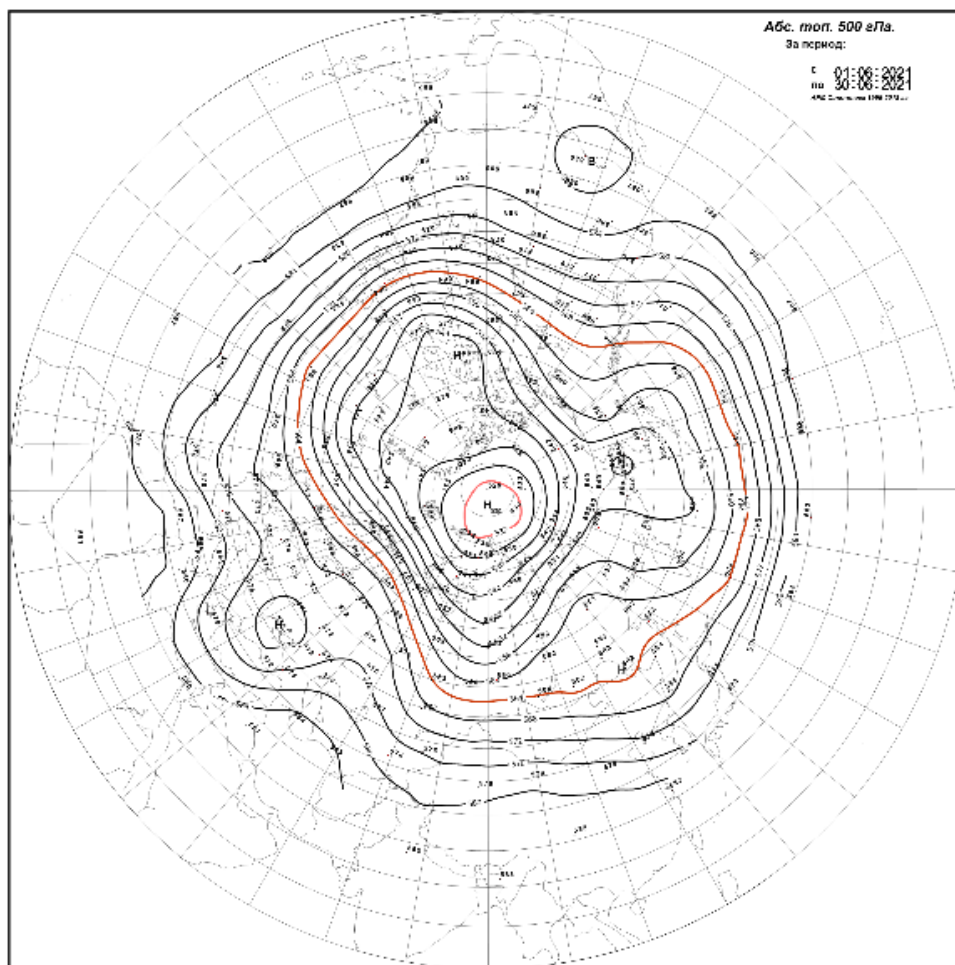


Рис. 1.1.10 Поле среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в июне 2021 г.

. В первом секторе под влиянием устойчивого континентального антициклона, циклоны в системе исландского минимума смещались по сравнению с нормой по высокоширотным траекториям в полярный район Арктики. Фон давления понизился до крупных значений с отрицательными аномалиями давления.

Фон температуры в большинстве районов преобладал выше нормы. Исключением явился район побережья Шпицбергена, где преобладали незначительные отрицательные аномалии температуры (рис. 1.1.11).

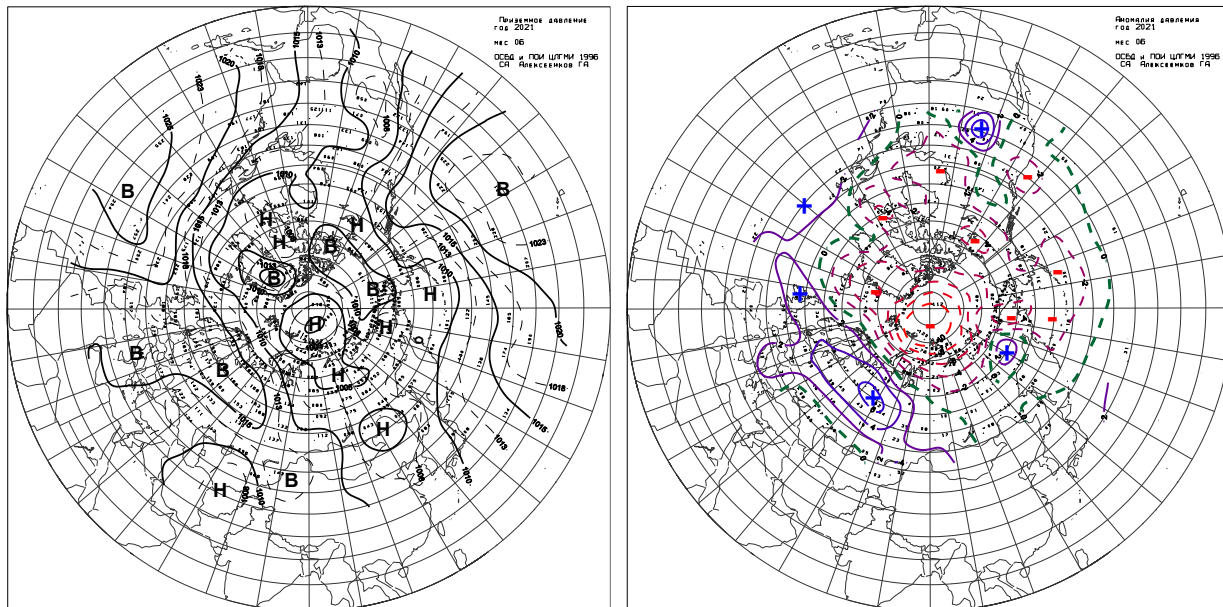


Рисунок 1.1.11. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в июне 2021 г.(гПа)

Во втором секторе направленность крупномасштабных атмосферных процессов типа M_1 сохранилась. Над Тихим океаном сформировался устойчивый антициклон. Вследствие этого циклоны в системе алеутского минимума смещались по сравнению с нормой по высокоширотным траекториям через Аляску и далее на Америку. Фон давления в этом секторе Арктики сформировался со значениями близкими к норме.

В большинстве районов преобладали положительные аномалии температуры со значениями близкими к норме (рис. 1.1.12).

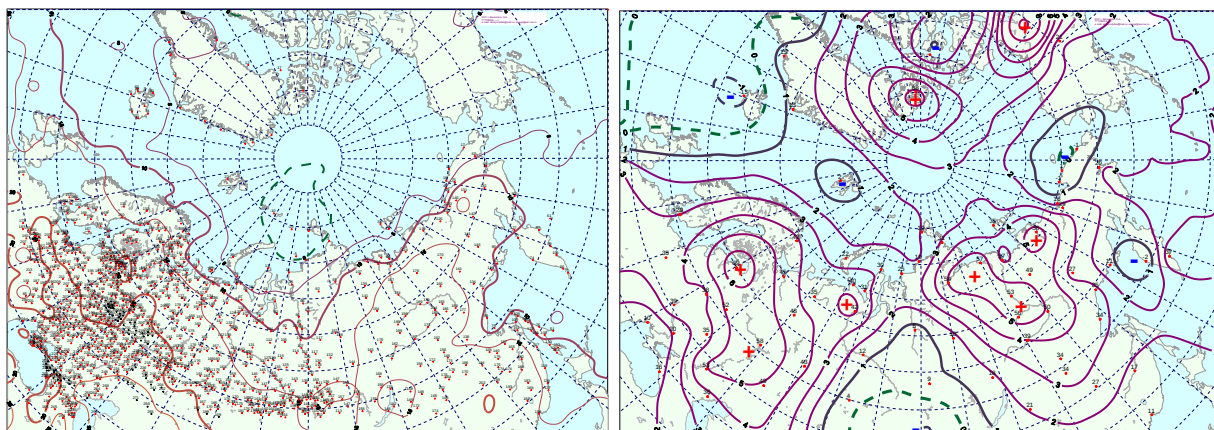


Рис. 1.1.12 Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в июне 2021 г., (°C)

Проведенный анализ развития и перестроек атмосферных процессов показал, что характерный для текущей циркуляционной стадии развития атмосферных процессов высокий температурный фон с преобладанием положительных аномалий температуры во втором квартале 2021 г. сохранился. Как было показано, основным отличием с прошлым 2020 г., явилось понижение температурного фона в целом по полярному району Арктики. По сравнению со вторым кварталом прошлого года фон *температуры* в этом году в целом по полярному району Арктики понизился на 0,7 °C.

На рисунке 1.1.13 приводятся фоновые средние за второй квартал 2021 г. значения аномалий температуры для акваторий морей российской Арктики в сравнение со вторым кварталом прошлого 2020 г.

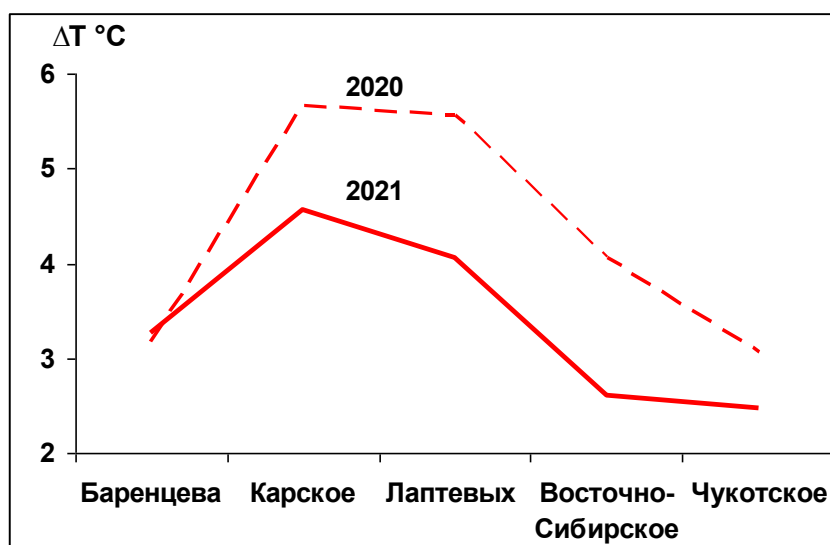


Рис. 1.1.13. Средние за второй квартал значения аномалий температуры воздуха (°C) для акваторий морей российской Арктики в 2021 и 2020 гг.



Во втором квартале 2021 г. в морях на трассе СМП наиболее аномально высокая температура сформировалась в Карском море, а наиболее низкая — в Восточно-Сибирском и Чукотском морях.

По сравнению со вторым кварталом прошлого года наибольшее понижение температуры в этом году отмечалось в Лаптевых и Восточно-Сибирском морях на 1,5 °С (см. рисунок 13). В среднем по акватории всех морей фон температуры понизился на 0,9 °С, но сохранился выше нормы.

Анализ структурных особенностей циркуляции атмосферы внутри каждого месяца с апреля по июнь 2021 г. проводился по естественным стадиям однонаправленного развития процессов — по 26 разновидностям элементарных синоптических процессов (ЭСП) атлантико-евразийского сектора Северного полушария, процессы которого являются определяющими для перестройки циркуляции атмосферы в полярном районе Арктики.

Анализ показал, что для каждого месяца характерна большая повторяемость перестройки процессов. Переходы от одного ЭСП к другому сопровождались сменой знака барических полей и направления преобладающих воздушных потоков в полярном районе Арктики и были обусловлены крупномасштабной перестройкой разновидностей атмосферных процессов в двух секторах Северного полушария. Основные разновидности форм циркуляции в атлантико-евразийском секторе полушария с типами циркуляции в тихоокеано-американском секторе полушария для каждого ЭСП с апреля по июнь 2021 г. представлены в таблице 1.1.2.

Обобщая результаты мониторинга развития и перестроек крупномасштабных атмосферных процессов и характера их проявления в метеорологических условиях полярного района Арктики за период с апреля по июнь 2021 г., можно сделать следующие основные выводы.

1. В целом, несмотря на сохранение положительных значений аномалий температуры воздуха в Арктике, крупномасштабные атмосферные процессы в апреле-июне 2021 г., по сравнению со вторым кварталом 2020 г., имели существенные отличия.
2. В первом секторе в апреле преобладали меридиональные процессы. В дальнейшем произошла кардинальная перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов к устойчивой повторяемости восточной формы циркуляции.
3. Во втором секторе наиболее высокую повторяемость имели меридиональные процессы типа M_1 .
4. В период с апреля по июнь под влиянием циклонов Северной Атлантики *фон давления* в полярном районе преобладал ниже нормы. Наиболее активная циклоническая



деятельность наблюдалась в июне, когда фон давления с отрицательными аномалиями давления резко понизился до значений 11 гПа.

5. В среднем за период с апреля по июнь 2021 г. над полярным районом преобладала устойчивая адвекция теплых воздушных масс и положительные аномалии температуры воздуха. По сравнению со вторым кварталом прошлого года в этом году *фон температуры* в полярном районе понизился на 0,7 °С.

6. Во втором квартале 2021 г. в морях на трассе СМП наиболее аномально высокая температура сформировалась в Карском море, а наиболее низкая – в Восточно-Сибирском и Чукотском морях. По сравнению со вторым кварталом прошлого года наибольшее понижение температуры в этом году отмечалось в Лаптевых и Восточно-Сибирском морях. В среднем по акватории всех морей фон температуры понизился на 0,9 °С.

Во втором квартале 2021 г. в морях на трассе СМП наиболее высокие значения положительных аномалий температуры сформировалась в море Лаптевых, по сравнению со вторым кварталом прошлого года во всех во всех морях фон температуры понизился. Наибольшее понижение температурного фона было отмечено в Карском море.

В среднем по акватории всех морей фон температуры понизился на 3 °С, но сохранился выше нормы.

Таблица 1.1.2

Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма – Гирса с апреля по июнь 2021 г. с внутримесячной детализацией атмосферных процессов по элементарным синоптическим процессам

Апрель 2021			Май 2021			Июнь 2021		
ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А
1 – 8	С	М ₁	1 – 2	С	3	1 – 11	Е	М ₁
9 – 13	Е	М ₂	3 – 8	W	М ₂	12 – 16	W	М ₂
14 – 20	Е	М ₂	9 – 11	Е	М ₁	17 – 21	Е	М ₁
21 – 26	С	М ₁	12 – 18	Е	М ₁	22 – 23	Е	М ₁
27 – 30	С	М ₂	19 – 22	Е	М ₁	24 – 30	С	3
			23 – 27	Е	М ₁			
			28 – 29	С	М ₁			
			30 – 31	Е	М ₂			
Итого	W 0 (–9) С 18 (10) Е 12 (–1)	3 0 (–9) М ₁ 14 (6) М ₂ 16 (3)	Итого	W 6 (–3) С 4 (–6) Е 1 (9)	3 2 (–9) М ₁ 21 (12) М ₂ 8 (–3)	Итого	W 5 (–5) С 7 (–4) Е 18 (9)	3 7 (–1) М ₁ 18 (2) М ₂ 5 (–1)

Примечания

1 ЭСП – элементарный синоптический процесс;

2 А–Е – атлантико-европейский сектор полушария;

3 Т–А – тихоокеано-американский сектор полушария.

4 В скобках среднемесячные аномалии числа дней с формами (W, С, Е) и типами (3, М₁, М₂) атмосферной циркуляции.

1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области

В настоящем разделе приводятся оценки изменения температуры воздуха и атмосферных осадков по районам северной полярной области (рис.1.2.1) и арктическим морям. Исходными данными послужили данные наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступавшие с дрейфующих буев МПАБ.

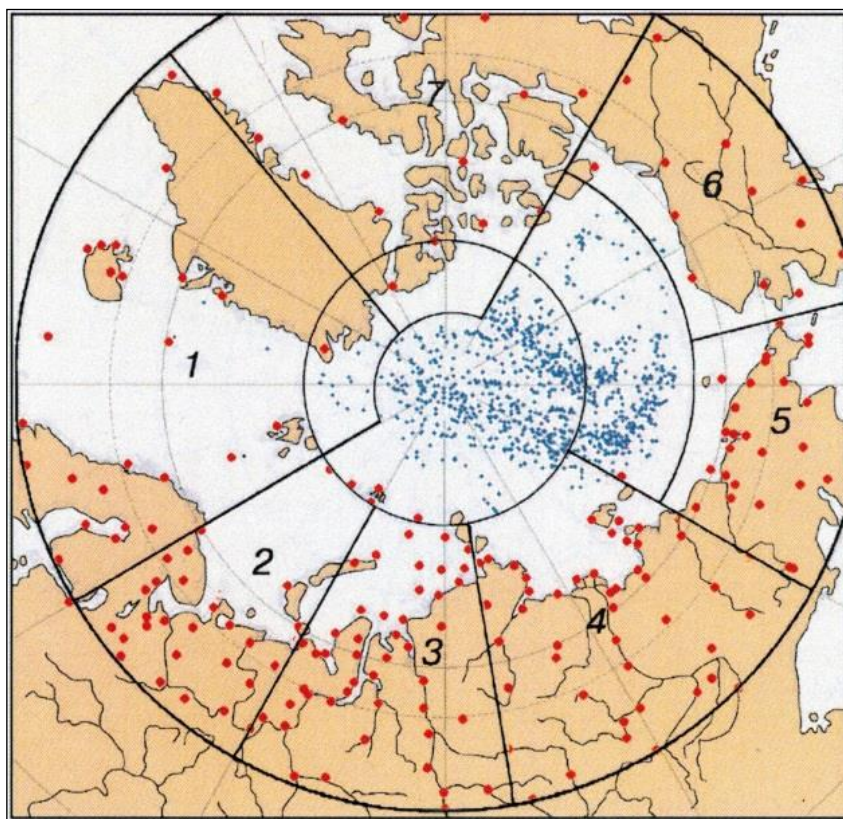


Рис. 1.2.1 Сеть метеорологических станций и границы районов в северной полярной области

1 – Атлантический; 2 – Североевропейский; 3 – Западносибирский; 4 – Восточносибирский; 5 – Чукотский; 6 – Аляскинский; 7 – Канадский

Температура воздуха.

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

Оценка аномалий средней температуры воздуха за весенний сезон 2021 года по отдельным широтным зонам (60 — 85, 70 — 85 и 60 — 70° с.ш.) представлена в табл.1.2.1.



В весеннем сезоне 2021 г. аномалия температуры воздуха СПО составила 2,3 °С. Весна 2021 г. по рангу теплых лет стала восьмой теплой весной за период с 1936 г. Аномалия температуры в широтной зоне 70-85° с.ш. оказалась равной 2,7 °С, а в зоне 60-70° с.ш. 1,8 °С. Прошедший сезон в этих широтных зонах стал девятым и одиннадцатым теплым сезоном по рангу теплых лет с 1936 г.

Таблица 1.2.1

Аномалия температуры воздуха (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) на территории СПО и отдельных широтных зон в среднем за весенний сезон 2021 г.

Широтная зона, °с.ш.	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
70 — 85	2,7	9	2019 (4,1)	1966 (–2,2)
60 — 70	1,8	11	2019 (3,6)	1964 (–2,2)
60 — 85	2,3	8	2019 (3,8)	1964 (–2,1)

Сопоставление значений аномалий весенней температуры воздуха в 2021 г. в отдельных климатических районах показало наличие крупных положительных аномалий температуры в евразийском секторе СПО (рис.1.2.2, табл.1.2.2). Аномалия температуры в Североевропейском, Западносибирском и Восточносибирском районах составили 2,8, 3,4 и 2,5 °С соответственно. Прошедший сезон в Североевропейском стал восьмым, а в Западносибирском и Восточносибирском - двенадцатым и тринадцатым теплым сезоном по рангу теплых лет с 1936 г.

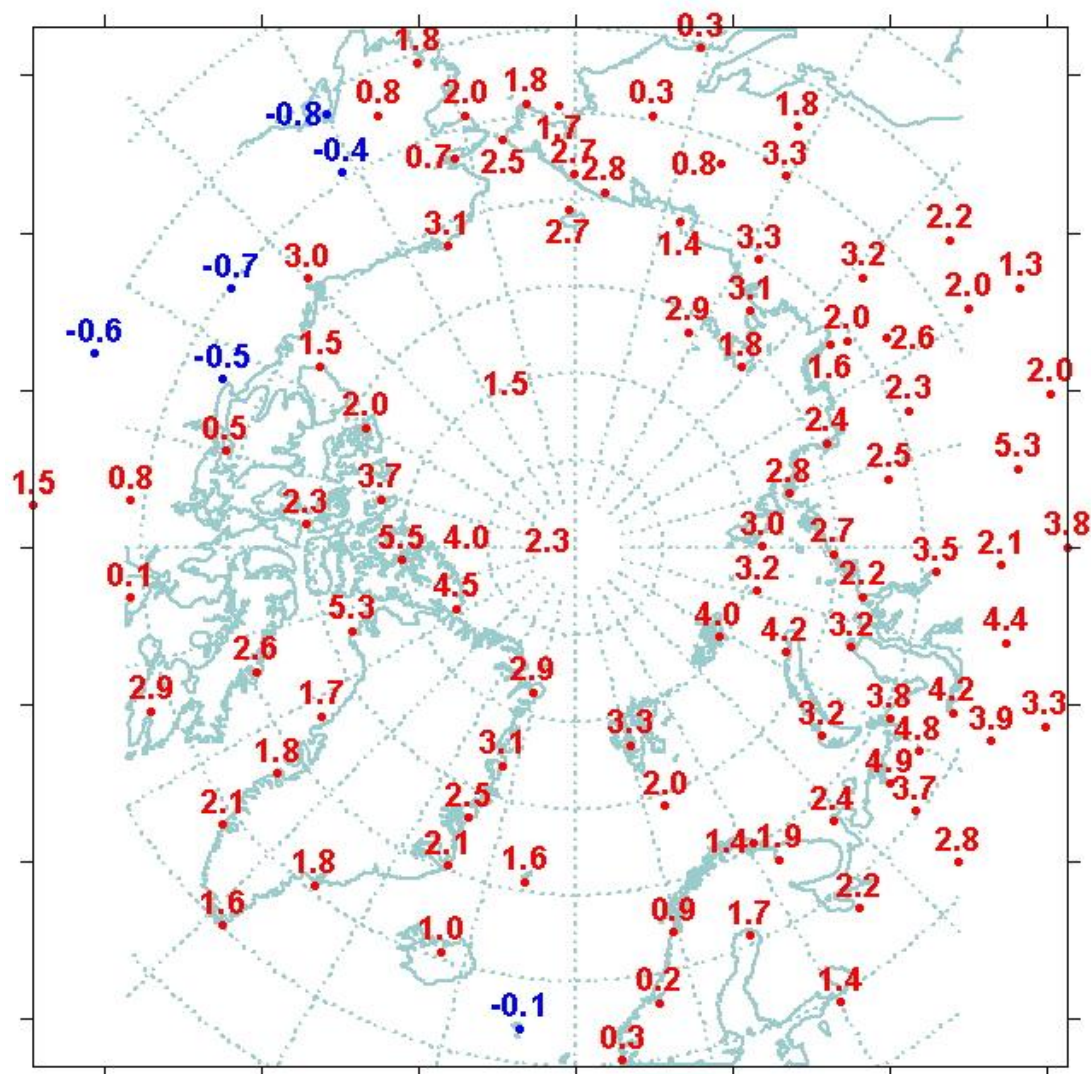


Рис. 1.2.2 Значения аномалий средней температуры воздуха весеннего сезона 2021 г.
на станциях Северной полярной области, °С

Таблица 1.2.2

Аномалии (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) средней температуры воздуха в
весеннем сезоне 2021 г. для отдельных районов СПО, °С

Климатический район	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
Атлантический	1,7	7	2004 (3,0)	1968 (-1,4)
Североевропейский	2,8	8	2016 (4,2)	1958 (-2,8)
Западносибирский	3,4	12	2020 (7,3)	1964 (-2,0)
Восточносибирский	2,5	13	2011 (5,5)	1958 (-2,7)
Чукотский	2,1	16	2017 (5,0)	1950 (-2,8)
Аляскинский	1,4	17	2019 (5,8)	1964 (-4,2)
Канадский	2,0	11	2010 (4,6)	1964 (-2,5)

В районах арктических морей наблюдались только положительные аномалии температуры. Наиболее высокие значения положительных аномалий обнаруживались в районе



Карского моря и в северной части Канадского района. В северной части Канадского района прошедший весенний сезон стал четвертым теплым сезоном по рангу теплых лет (табл.1.2.3).

Таблица 1.2.3

Аномалии температуры воздуха в весеннем сезоне 2021 г. на территории севернее 70° с.ш.

Море, часть климатического района	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	2,5	4	2004,2006 (3,8)	1968 (-2,1)
Баренцево море	2,6	10	2016 (5,0)	1969 (-2,7)
Карское море	3,2	16	2011 (7,3)	1964 (-3,9)
Море Лаптевых	2,3	13	2011 (5,6)	1966 (-2,6)
Восточно-Сибирское море	2,7	12	1990 (5,4)	1950 (-2,5)
Чукотское море	2,6	15	2019 (5,7)	1985 (-3,2)
Море Бофорта	2,4	13	2019 (6,2)	1964 (-2,7)
Северная часть Канадского района	3,3	4	2010 (4,2)	1964 (-2,1)

Временные ряды пространственно-осредненных аномалий средней за весенний сезон температуры воздуха для отдельных районов широтной зоны 60-85° с.ш. представлены на рис. 1.2.3, а для районов арктических морей на рис. 1.2.4.

Оценка линейного тренда средней температуры воздуха СПО и отдельных широтных зон за весенний сезон 1936-2021 гг. показала наличие статистически значимого (на 5% уровне значимости) положительного линейного тренда как для широтных зон к северу и югу от 70° с.ш., так и для СПО в целом (табл.1.2.4). Повышение температуры весеннего сезона составило соответственно 2,58, 2,24 и 2,41 °С за 86 лет.

Таблица 1.2.4

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

Район, широтная зона	1936 — 2021		1992 — 2021		2012 — 2021	
	<i>Bx</i>	<i>D</i>	<i>Bx</i>	<i>D</i>	<i>Bx</i>	<i>D</i>
Атлантический	0,17	45,9	0,42	48,2	0,24	14,6
Североевропейский	0,31	48,0	0,79	48,0	0,57	11,9
Западносибирский	0,38	42,2	1,19	45,5	0,89	12,4
Восточносибирский	0,38	50,2	1,40	67,1	1,34	26,3
Чукотский	0,34	47,7	1,11	57,0	2,58	50,3
Аляскинский	0,31	41,0	0,62	32,3	3,14	44,8
Канадский	0,10	20,6	0,54	36,7	0,93	37,2
60-70° с.ш.	0,26	57,8	0,73	62,0	1,54	44,7
70-85° с.ш.	0,30	56,2	1,02	74,2	0,84	33,2
60-85° с.ш.	0,28	58,5	0,84	69,4	1,37	44,1

Примечание:

Bx – значение линейного тренда в °С/10 лет;

D – вклад тренда в полную дисперсию, %;

жирным шрифтом выделены статистически значимые на 5% уровне тренды

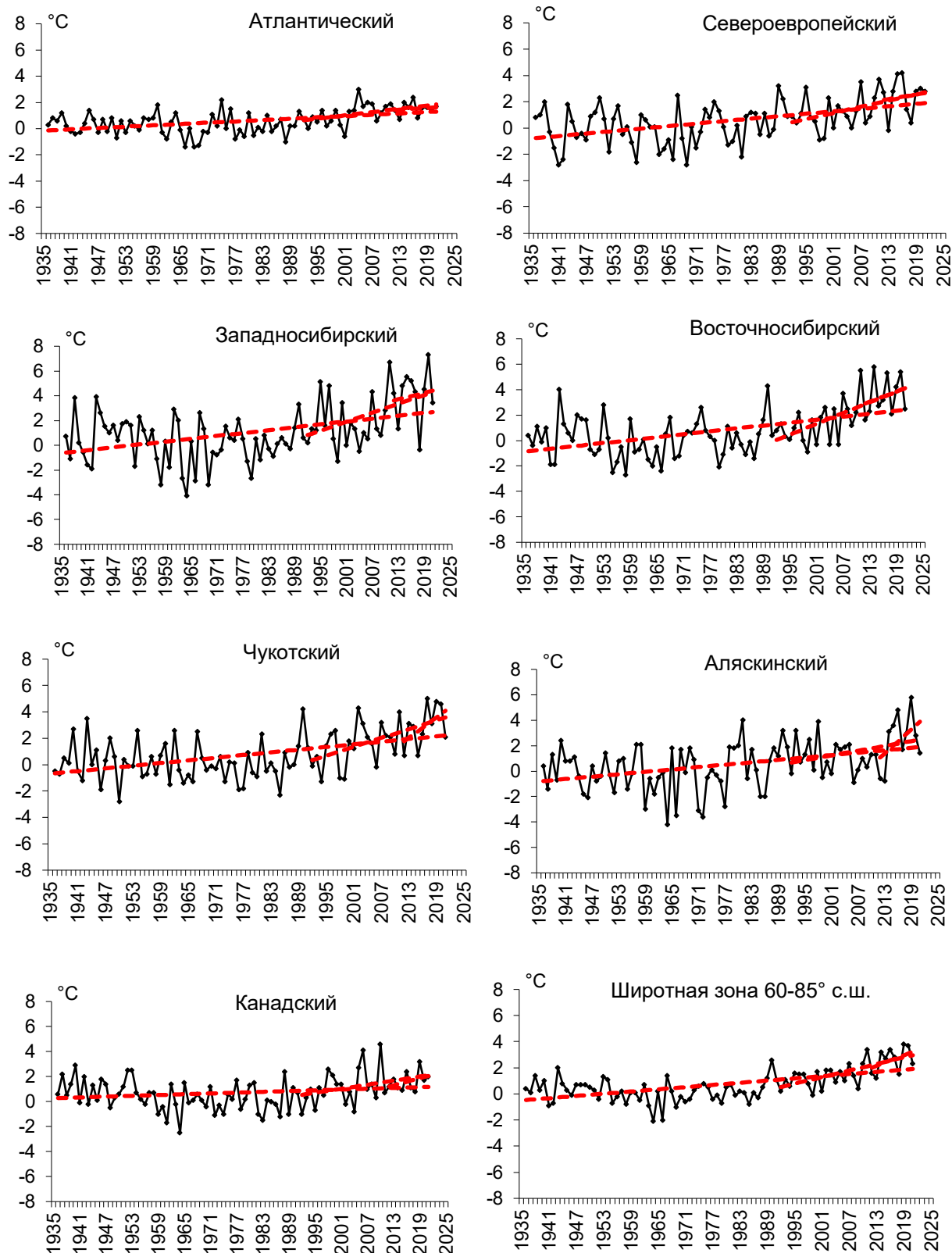


Рис. 1.2.3 Временные ряды аномалий средней за весенний сезон температуры воздуха в климатически однородных районах Арктики и в Арктическом регионе в целом, °С

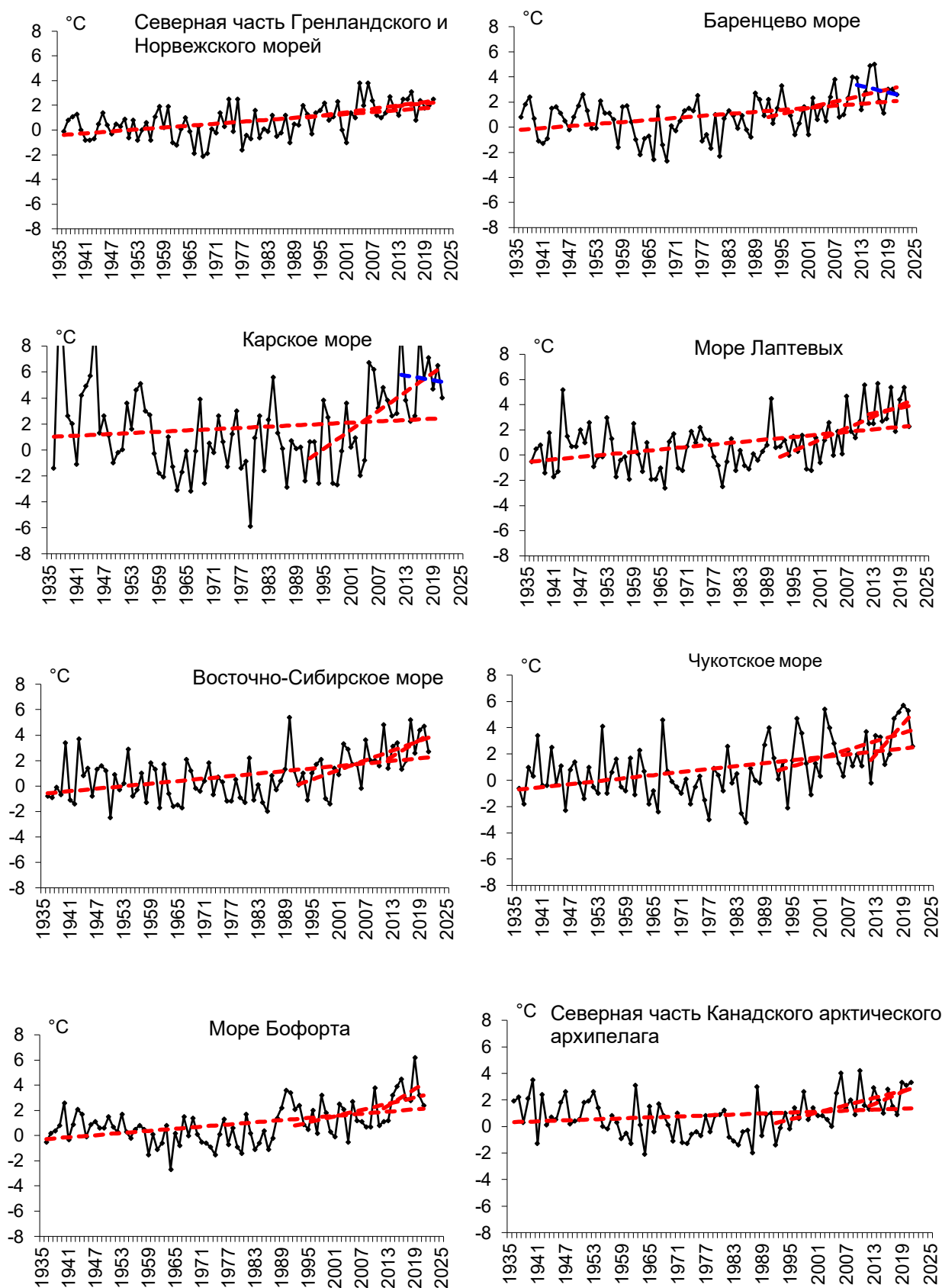


Рис. 1.2.4 Временные ряды аномалий средней за весенний сезон температуры воздуха над акваториями морей и Канадским архипелагом, °C



Для последнего тридцатилетнего периода 1992-2021 гг. в СПО и в отдельных широтных зонах в весенней температуре характерны статистически значимые (на 5% уровне значимости) положительные тренды. Повышение температуры в целом по СПО составляет 2,52 °C за 30 лет. В отдельных районах наиболее высокие значения тренда наблюдаются в изменениях температуры Западносибирского, Восточносибирского и Чукотского районов. Значение линейного тренда средней за весенний сезон температуры воздуха здесь составляет соответственно 3,57; 4,20 и 3,33 °C/30 лет.

В последнем десятилетнем периоде в районах притихоокеанского сектора наблюдается более выраженное повышение температуры. В целом по СПО знак тренда в температуре весеннего сезона положителен.

В районах всех арктических морей сохраняется положительный знак линейного тренда в изменениях температуры воздуха весеннего сезона (табл.1.2.5). Наиболее высокая скорость повышения температуры воздуха отмечается в районе Карского моря и моря Лаптевых. За 1992 — 2021 гг. температура воздуха в районах повысилась на 3,96 и 4,53 °C/30 лет соответственно.

Таблица 1.2.5

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

Море, часть моря	1936 — 2021		1992 — 2021		2012 — 2021	
	<i>Bx</i>	<i>D</i>	<i>Bx</i>	<i>D</i>	<i>Bx</i>	<i>D</i>
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,26	50,6	0,47	38,1	0,35	15,5
Баренцево море	0,27	41,9	0,82	49,1	-0,84	19,2
Карское море	0,38	40,4	1,32	49,0	-0,56	8,7
Море Лаптевых	0,33	42,8	1,51	68,1	0,73	15,0
Восточно-Сибирское море	0,33	45,8	1,27	65,8	2,12	47,4
Чукотское море	0,38	45,0	1,06	46,2	3,95	61,4
Море Бофорта	0,28	46,2	0,82	48,3	2,17	43,6
Северная часть Канадского района	0,12	20,5	0,90	60,1	1,47	45,8

Примечание: *Bx* – значение линейного тренда в °C/10 лет;

D – вклад тренда в полную дисперсию, %;

жирным шрифтом выделены статистически значимые на 5% уровне тренды

Атмосферные осадки

Оценка выпавшего количества осадков в СПО в холодном сезоне 2020/21 г. проводилась по тем же климатическим районам, что и для температуры воздуха. За холодный сезон принят период с октября по май, период преимущественного выпадения твердые осадков.

В табл.1.2.6 представлены относительные аномалии (в процентах от нормы 1961-1990 гг.) количества осадков за холодный сезон 2020/21 г. для отдельных широтных зон и



климатических районов. В целом в СПО осадков выпало ниже нормы (на 5,0 %). Такое количество осадков, выпавших в холодном периоде 2020/21 г. в СПО оказалось тридцать третьим значением в ряду убывающих значений с 1936 года. К югу от 70°с.ш. осадков в зимнем сезоне выпало также ниже нормы на 3,9 %, а к северу на 4,2 % выше нормы. Это соответственно двадцать девятое и восемнадцатое значения в ряду убывающих значений с 1936 года

Таблица 1.2.6

**Относительные аномалии (в процентах от нормы 1961-1990 гг.)
сумм осадков холодного сезона 2020/21 г.**

Климатический район, широтная зона	Относительная аномалия	Наибольшее значение	Наименьшее значение
Атлантический	78,2	2015 (123,2)	1968 (75,2)
Североевропейский	119,2	2020 (137,5)	1980 (68,5)
Западносибирский	110,3	2020 (132,0)	1946 (72,4)
Восточносибирский	102,1	1988 (125,2)	1967 (78,4)
Чукотский	96,5	1954 (139,6)	1982 (60,2)
Аляскинский	105,0	1951 (164,4)	1968 (54,1)
Канадский	78,3	2005 (123,5)	1977 (75,0)
60 — 70°с.ш.	96,1	2015 (115%)	1968 (88%)
70 — 85°с.ш.	104,2	1989 (127%)	1998 (84%)
60 — 85°с.ш.	95,0	1954 (117%)	1980 (90%)

В табл. 1.2.7 приведены оценки изменения сумм осадков холодного сезона за весь период (с 1936 по 2021 гг.) по южным (60-70° с.ш.) и северным (70-85° с.ш.) частям климатических районов и для районов в целом. На рис. 1.2.5 временные ряды сумм осадков холодного сезона для районов арктических морей и территорий севернее 70° с.ш.

В межгодовых изменениях осадков холодного сезона за период 1936-2021 гг. сохраняется тенденция статистически значимого увеличения зимних осадков. В широтной зоне к югу от 70° с.ш. количество осадков увеличилось на 17 % (по отношению к норме 1961-1990 гг.), к северу – на 12 %, а в целом по региону на 11 %. За этот период осадки более всего выросли в Североевропейском районе (на 36 %) и Западносибирском (на 23 %), главным образом, за счет увеличения сумм осадков в южной части районов на 46 и 39 % соответственно. В Чукотском районе зимние осадки продолжают уменьшаться (на 12 %).

В последнем 30-летнем периоде в осадках холодного сезона в целом по СПО отсутствует значимый линейный тренд. Можно лишь указать на разнонаправленные статистически значимые тренды в отдельных частях районов. Увеличение осадков происходит в южной части Аляскинского района, в северной части Гренландского и Норвежского морей, а также в районе Баренцева моря. Уменьшение осадков наблюдается в южной части Канадского района и района моря Бофорта.



Таблица 1.2.7

Коэффициенты линейного тренда сумм осадков холодного сезона за весь период и за последнее 30-тилетие

Район, широтная зона	<i>Bx</i>	% от нормы	<i>D</i>	<i>Bx</i>	% от нормы	<i>D</i>
	1936 — 2021			1992 — 2021		
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	2,06	2,8	5,1	−24,95	−11,7	17,7
Скандинавия и север ЕТР	14,50	45,6	71,5	−0,52	−0,6	1,2
Западная Сибирь	9,56	38,8	64,5	8,39	11,9	22,9
Восточная Сибирь	2,53	15,7	40,2	0,63	1,4	3,9
Чукотка	0,45	2,0	3,2	3,47	5,5	10,3
Аляскинский (южная часть)	4,29	24,7	28,7	16,31	32,8	38,2
Канадский (южная часть)	−0,82	−6,5	11,7	−9,51	−26,1	47,8
60–70° с.ш.	4,83	16,9	46,8	−0,13	−0,2	0,5
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	11,84	43,2	59,3	27,91	35,5	50,6
Баренцево море	7,22	27,4	61,9	10,44	13,8	38,4
Карское море	0,42	2,7	5,3	1,42	3,2	6,8
Море Лаптевых	−2,93	−20,7	39,9	1,83	4,5	11,3
Восточно-Сибирское море	−7,62	−52,3	61,1	−6,68	−16,0	34,9
Чукотское море	−9,12	−44,8	56,2	8,54	14,6	58,3
Море Бофорта	−0,83	−7,3	8,9	−14,19	−44,0	59,0
Канадский (северная часть)	0,30	4,3	5,4	4,11	20,5	16,3
70 — 85° с.ш.	1,92	11,9	37,7	−2,48	−5,4	10,1
Атлантический	5,07	6,8	17,8	−10,42	−4,9	10,4
Североевропейский	11,57	36,4	76,9	6,04	6,6	23,7
Западносибирский	5,71	23,2	61,3	5,42	7,7	23,6
Восточносибирский	0,43	2,7	8,9	1,03	2,2	7,9
Чукотский	−2,74	−12,4	23,4	1,81	2,8	8,1
Аляскинский	2,14	12,3	18,6	4,97	10,0	16,0
Канадский	−0,39	−3,1	7,2	−8,47	−23,3	48,3
60 — 85° с.ш.	3,17	11,1	45,2	0,16	0,2	0,9

Примечание: Первый столбец – значение линейного тренда в мм/10 лет;

Второй столбец – изменение сумм осадков в процентах от среднесезонного значения за 1961 — 90 гг.;

Третий столбец – вклад тренда в полную дисперсию D%;

Жирным шрифтом выделены статистически значимые на 5% уровне тренды

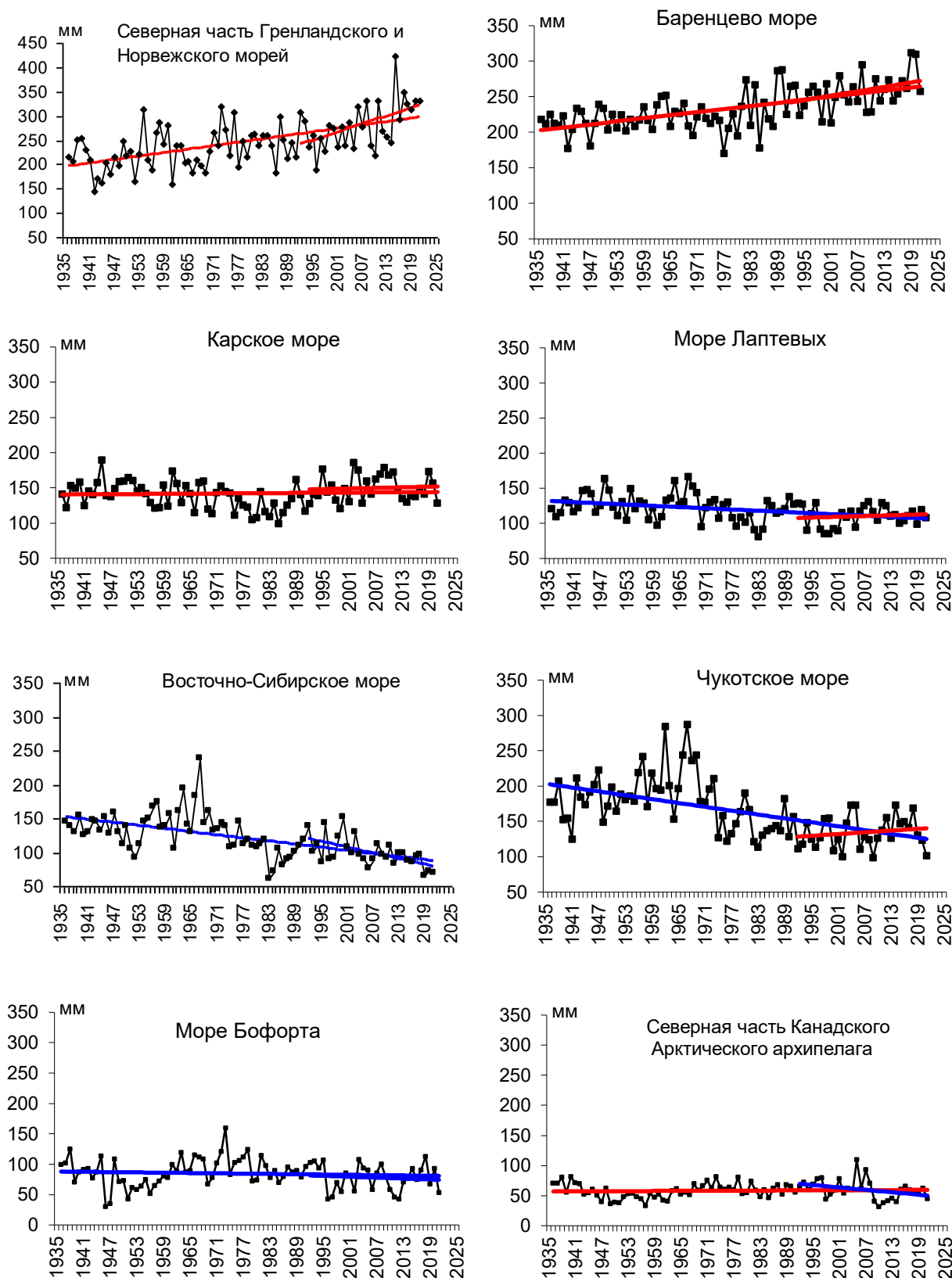


Рис. 1.2.5 Временные ряды сумм осадков холодного сезона над акваториями морей и Канадским архипелагом, мм



2 Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях с апреля по июнь 2021 г.

2.1 Развитие ледовых условий за период с апреля по июнь

Оценки особенностей развития ледовых условий с апреля по июнь 2021 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, данным экспедиционных исследований, проводимых в ФГБУ «ААНИИ» с апреля по июнь на научной базе «Мыс Баранова», и в ряде международных проектов.

Со всей доступной исходной информацией по разделу 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). Как результат, карты ААНИИ характеризуют ледовые условия морей от Гренландского до Чукотского, Берингова моря, Охотского моря и Балтийского моря, КЛС — моря Бофорта, Канадского архипелага, моря Баффина, Девисова пролива, пролива Лабрадор, пролива Св. Лаврентия, а НЛЦ - Арктического Бассейна, моря Линкольна, южной части Гренландского моря (при этом полный охват карт НЛЦ – вся акватория СЛО и субполярные моря). Для построения совмещенных карт использовался архив данных в формате СИГРИД-3 Мирового центра данных по морскому льду (МЦД МЛ). В пределах отдельного месяца выборка карт из архива проводилась по критериям близости к середине месяца и интервала времени между картами ААНИИ и КЛС-НЛЦ в 1 сутки (день недели выпуска карт ААНИИ – каждая среда, КЛС – каждый вторник, НЛЦ – 1 раз в 2 недели по вторникам). Для цветовой окраски карт в зимний (по возрасту) и летний (по общей сплоченности) периоды использован стандарт ВМО (WMO/Td. 1215). Следует также отметить, что в зонах стыковки карт ААНИИ и КЛС, НЛЦ наблюдается определенная несогласованность границ и характеристик ледовых зон вследствие ряда различий в ледовых информационных системах ААНИИ и КЛС, НЛЦ (КЛС и НЛЦ имеют единую информационную систему в рамках Североамериканской ледовой службы). Однако, данная несогласованность не существенна для целей интерпретации ледовых условий в рамках настоящего обзора. Исходная информация в формате ВМО СИГРИЗ доступна на сервере МЦД МЛ по адресам <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> (карты ААНИИ), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0031> (карты



КЛС), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0032> (карты НЛЦ). В графическом формате PNG совмещенные карты ААНИИ-КЛС-НЛЦ доступны по адресу <http://wdc.aari.ru/datasets/d0040>.

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

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

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

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 2021 г. выполнен на основе массива ежедневных распределений оценки общей сплоченности по алгоритму NASATEAM из архива Национального центра данных США по снегу и льду (<http://nsidc.org>).

На рис. 2.1.1 показаны границы и положение квазиоднородных районов, по которым проводится описание развития ледовых условий.

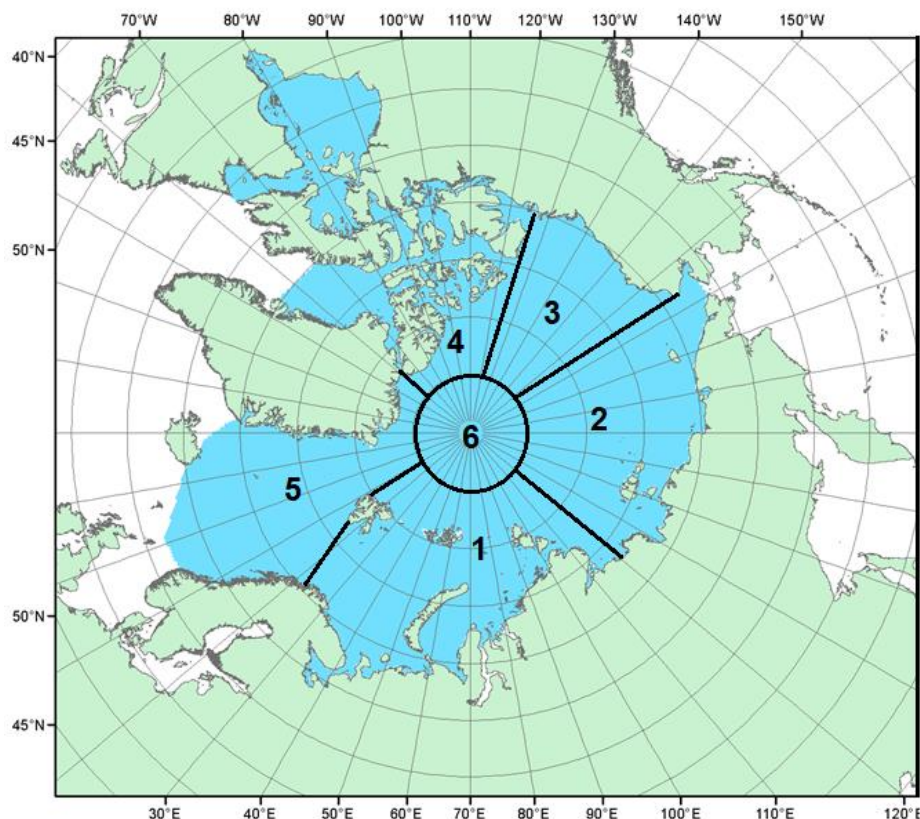


Рис. 2.1.1 Районы Северного Ледовитого океана

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

Развитие ледовых условий в течение зимнего сезона 2021 г. проходило на фоне устойчивой адвекции теплых воздушных масс и положительных аномалий температуры воздуха в Арктике. В среднем за первый квартал 2020 г. фон температуры над полярным районом оставался аномально высоким. В морях на трассе СМП наиболее высокие значения положительных аномалий температуры сформировались в море Лаптевых, а наиболее низкие — в Карском и Чукотском морях.

В конце первого квартала 2021 г. в СЛО и его морях сложилась следующая ледовая обстановка:

Однолетних толстых льдов в границах Баренцева и Карского морей не наблюдалось. В западном районе российского сектора СЛО зона однолетних толстых льдов наблюдалась в виде неширокой полосы (100 — 150 км), расположенной южнее массива старых льдов. В морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском однолетние толстые льды наблюдались только в северной части. Исключение составило море Бофорта, в котором наблюдался полный переход однолетних льдов в возрастную градацию однолетних толстых. Подобная ситуация, когда в марте в российских арктических морях еще не



наблюдается преобладание однолетних толстых льдов, является нехарактерной и свидетельствует о слабом нарастании толщины ледяного покрова.

В возрастном составе льдов во всех морях российского сектора Арктики преобладал смешанный состав из льдов всех возрастных категорий. Наблюдалось много однолетних тонких и молодых льдов в Баренцевом море. Молодые, однолетние тонкие и средние льды преобладали в морях Карском и Лаптевых. В Восточно-Сибирском и Чукотском морях преобладали однолетние средние и толстые льды.

Из-за постоянного выноса льдов в западной части моря Лаптевых не установился припай на восточных подходах к проливу Вилькицкого. Площадь припая во всех российских арктических морях была меньше средних многолетних значений, кроме припая в западной части Восточно-Сибирского моря, который был развит на 25% больше нормы. В середине марта суммарная площадь припая в российских арктических морях составила 500 тыс. км² при норме 586 тыс. км², что на 15 % меньше средних многолетних значений.

По данным полярных станций отрицательная аномалия толщины льда сформировалась по всему побережью российских арктических морей. В Карском море аномалия составила – 20...– 40 см, в море Лаптевых и в районе Новосибирских островов — – 15...– 20 см. По побережью восточной части Восточно-Сибирского и Чукотского морей аномалии толщин льда были самыми значительными и составили – 50...– 60 см.

Многолетние льды располагались в приполюсном районе, а также в гринландском и канадском секторах Арктики. В границах арктических окраинных морей старых льдов не наблюдалось. Площадь старых льдов составляла около 30 — 35% от площади льдов на акватории СЛО.

Распространение ледяного покрова в Северной полярной области в начале апреля приведено на рис. 2.1.2.

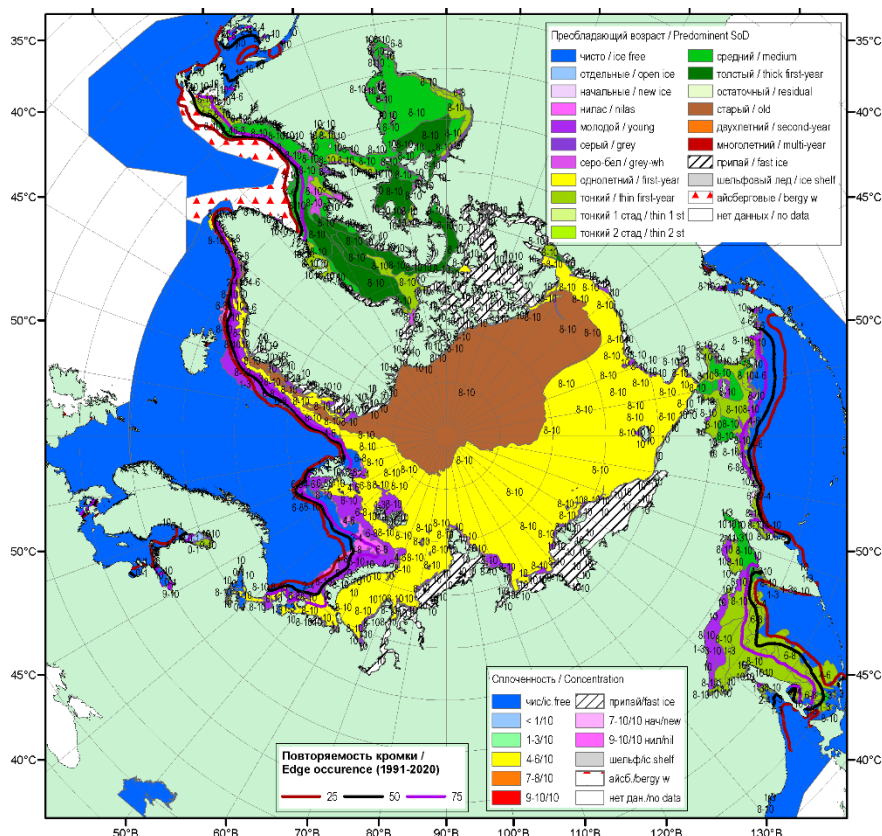


Рис. 2.1.2 Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 01-06 апреля 2021 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США

Общее количество льдов в Северном Ледовитом океане по оценкам, выполненным в ААНИИ, в конце первого квартала 2021 г. составило 11,67 млн. км², что было на 2,5% меньше среднего многолетнего значения за длинный ряд наблюдений (с 1978 г.). Количество льда, наблюдавшееся в СЛО в конце марта 2021 г., оказалось очень близким по величине к среднему значению за десятилетний период 2011 — 2020 гг. и очень близким к значениям за 2016 и 2018 гг.

Однако при большой площади ледяного покрова, приближающейся к норме, его толщина была меньше средней многолетней, характерной для конца марта, о чем свидетельствует количество льдов различного возраста.

Распределение ледяного покрова по возрастным грациям и по сплоченности, а также поля среднемесячного дрейфа за каждый месяц за период с апреля по июнь 2021 г. приведены на рисунках 2.1.3 — 2.1.11.

В апреле наблюдалось дальнейшее развитие ледяного покрова и переход однолетних средних льдов в возрастную грацию однолетних толстых льдов в некоторых районах окраинных арктических морей. Однако на обширных акваториях Баренцева, Карского и Чукотского морей, сохранялось преобладание однолетних средних и тонких льдов. Процесс



нарастания льда в весенний период 2021 г. происходил со значительным запаздыванием по сравнению с нормой.

Заприпайные полыньи в арктических морях были развиты слабо. Они отмечались только в западной части моря Лаптевых. В связи с этим молодых льдов (толщиной до 30 см) наблюдалось также мало. Только в Баренцевом море наблюдались обширные зоны молодых льдов в прикромочной зоне.

Был хорошо развит припай в северо-восточной части Карского моря и в районе Новосибирских островов, особенно в западной части Восточно-Сибирского моря, и очень слабо развит припай в районе архипелага Северная Земля со стороны моря Лаптевых, что было обусловлено постоянным выносом льдов из районов этих морей.

Старые льды наблюдались в гринландском и канадском секторах, а также в приполюсном районе Арктики (рис. 2.1.3).

В поле сплоченности ледяного покрова прослеживалась достаточная однородность. Преобладали сплоченные льды, что характерно для зимних месяцев в СЛО. Граница распространения ледяного покрова в Баренцевом море, а также морях Гринландском, Баффина и Лабрадор была близка к среднему многолетнему положению (рис. 2.1.4).

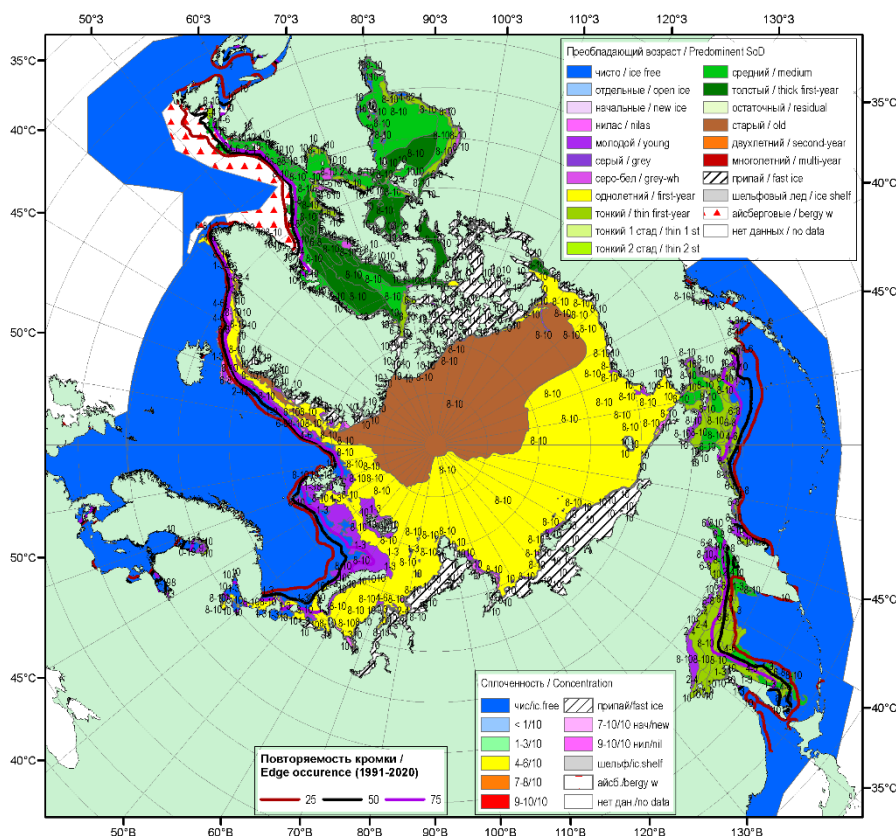


Рис. 2.1.3 Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 16-20 апреля 2021 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США

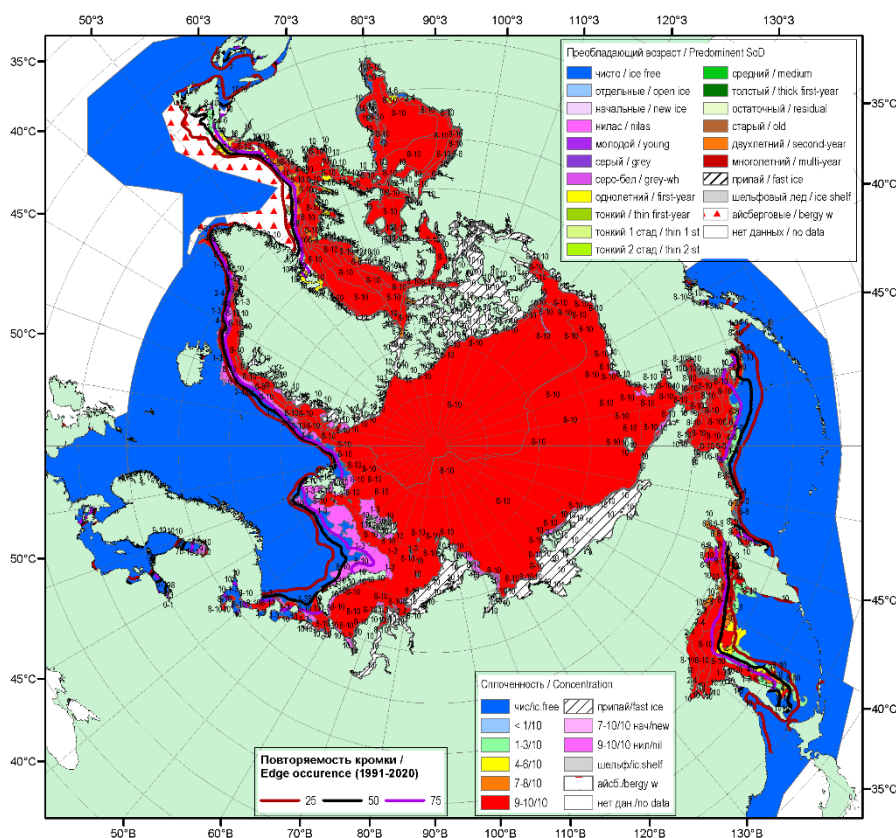


Рис. 2.1.4 Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 16–20 апреля 2021 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США

Из основных структур дрейфа льда в СЛО был хорошо развит Трансарктический перенос льдов. Канадский антициклонический круговорот был развит очень слабо и смещен к островам Канадского арктического архипелага.

Трансарктический перенос льдов был развит очень хорошо и охватывал большую часть акватории океана. Перенос начинался от Берингова пролива, включал в себя входящие потоки из Восточно-Сибирского, Лаптевых и Карского морей, проходил через приполюсный район и выносил льды в пролив Фрама. Скорость дрейфа льдов в Трансарктическом переносе не превышала 5 км/сутки. На подходах к проливу Фрама и в самом проливе скорости дрейфа льда возрастали до 15 км/сутки (рис. 2.1.5).



**Рис. 2.1.5 Поле скорости фактического дрейфа морского льда в апреле 2021 г.,
восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений
льда в микроволновом диапазоне**

В течение мая, который считается периодом максимального развития и накопления ледяного покрова, в структурном составе дрейфующих льдов Северного Ледовитого океана преобладали однолетние льды (преимущественно однолетние толстые и средние льды), которые составляли около 60% от общего количества льда. Около 35% от общего количества льда составляли старые льды. Остальное количество льдов было представлено молодыми льдами в прикромочной зоне (в Гренландском и Баренцевом моря) или молодыми льдами в заприпайных полыньях (в западной части моря Лаптевых и в море Бофорта).

Однолетние льды занимали весь российский сектор Арктики, более половины приполюсного района и аляскинского сектора Арктики. Старые льды наблюдались преимущественно в гренландском и канадском секторах Арктики. Из приполюсного района старые льды были и в значительной степени вытеснены и замещены однолетними льдами (рис. 2.1.6).

Припай в конце периода максимального развития был развит слабо в морях западного района российского сектора Арктики, меньше своего среднемноголетнего

значения. Наиболее обширным припай наблюдался в районе Новосибирских островов, в западной части Восточно-Сибирского моря, и между островами Канадского арктического архипелага. Заприпайные полыньи не имели большого развития во всех арктических морях наблюдались только в западной части моря Лаптевых, вдоль припая остров Северная земля и в море Бофорта (рис. 2.1.6).

В поле сплоченности ледяного покрова прослеживалась достаточная однородность. По всей акватории океана и морей преобладали сплоченные льды, что характерно для зимних месяцев в СЛО. Граница распространения ледяного покрова в Баренцевом море, а также морях Гренландском, Баффина и Лабрадор была близка к среднему многолетнему положению (рис. 2.1.7).

В поле сплоченности ледяного покрова хорошо проявились зоны заприпайных полыней и сформировавшихся разрывов в морях Гренландском, Баренцевом и Бофорта, а также в западной части моря Лаптевых. Однако обширного развития заприпайных полыней в арктических морях не наблюдалось. В мае 2021 года в арктических морях не произошло формирования крупных очагов очищения, которые были характерны в предыдущие годы (рис. 2.1.7).

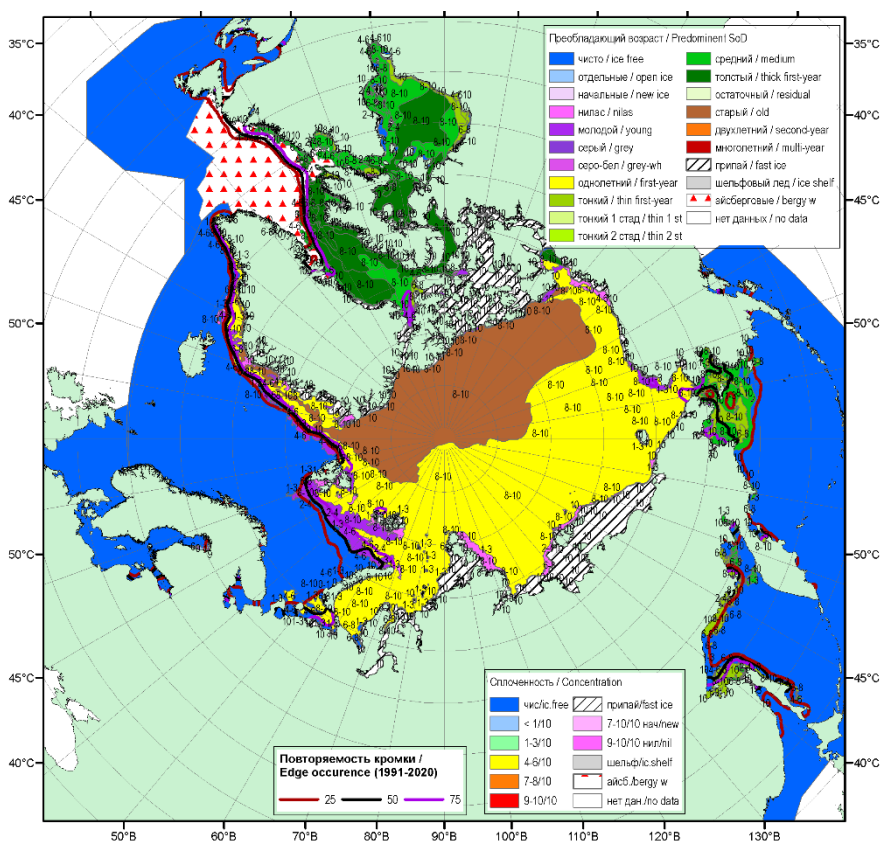


Рис. 2.1.6 Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 14-18 мая 2021 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США

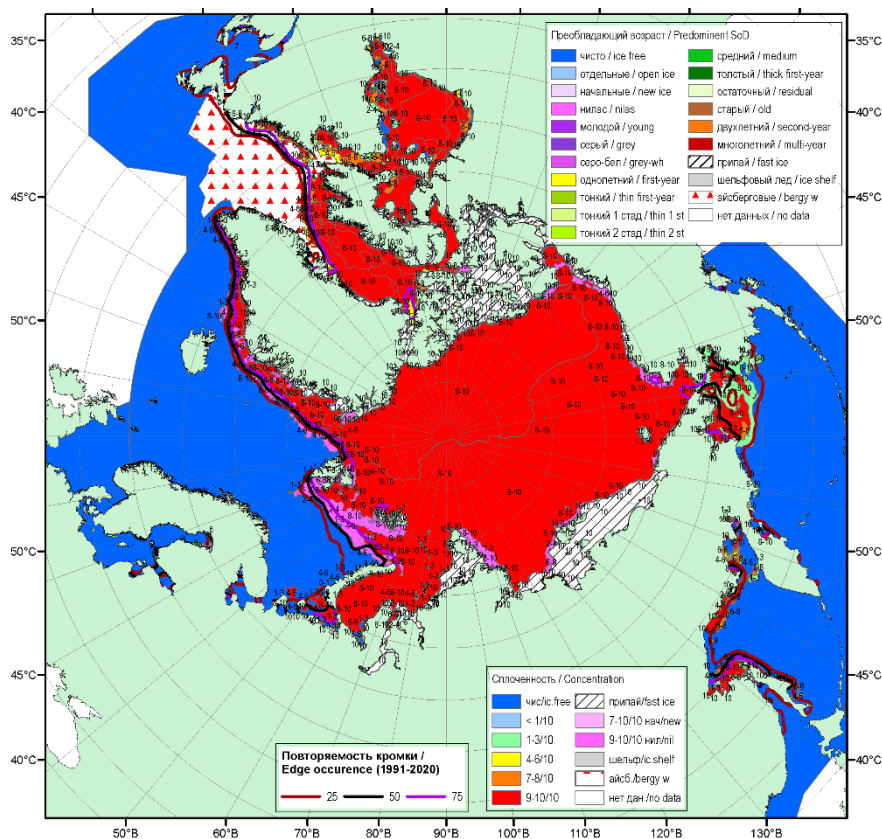


Рис. 2.1.7 Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 14–18 мая 2021 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США

В мае в поле дрейфа произошли существенные изменения. Вместо наблюдавшейся в апреле преобладающего Трансарктического переноса, который распространялся практически на всю акваторию СЛО, в мае вновь сформировались традиционные структуры дрейфа льда — Трансарктический перенос и Канадский антициклонический круговорот.

Трансарктический перенос льдов начинался от северной части архипелага Новосибирских островов, проходил через приполюсный район, подходил к побережью Гренландии и далее выносил льды в пролив Фрама. В приполюсном районе наблюдалось замещение старых льдов однолетними льдами.

Канадский антициклонический круговорот также получил хорошее развитие. Его центр располагался над северной частью моря Бофорта. В приполюсной ветви и у побережья островов Канадского арктического архипелага скорость дрейфа льдов не превышала 5 км/сутки. На периферии круговорота, в морях Бофорта и Чукотском, скорость дрейфа льда достигала 10 км/сутки (рис. 2.1.8).



**Рис. 2.1.8 Поле скорости фактического дрейфа морского льда в мае 2021 г.,
восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений
льда в микроволновом диапазоне**

В весенний период интенсивность нарастания толщины льда была близка к норме во всех морях российского сектора Арктики, что привело к некоторому сокращению отрицательных аномалий толщины льда, сформировавшихся в зимние месяцы. Во всех морях наблюдалось уменьшение отрицательной аномалии с 20 — 40 см до 10 — 30 см. А в некоторых районах побережья, например, амдерминское побережье в юго-западной части Карского моря, район Новосибирских островов, прибрежная центральная часть Восточно-Сибирского моря, толщина льда в припае приблизилась к среднегодовым значениям.

Распределение аномалии толщины льда по морям в конце периода нарастания (середина мая) приведены на рис. 2.1.9.

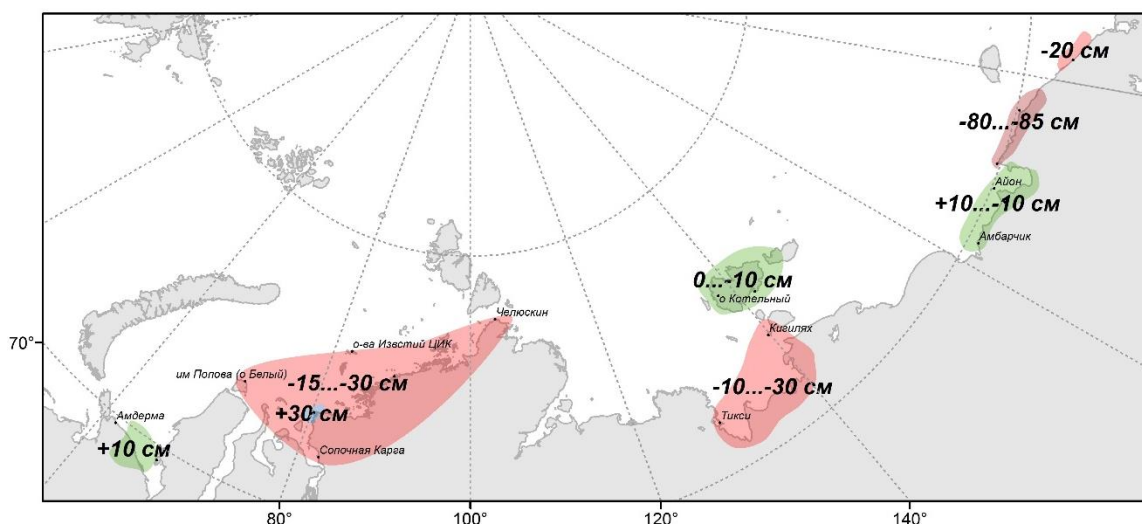


Рис. 2.1.9 Аномалии толщины льда в морях российских секторов Арктики по данным полярных станций на период максимального нарастания в 2021 г. (конец мая)

В июне началось быстрое очищение акваторий, которое наблюдалось во всех окраинных морей российского сектора Арктики, от Баренцева до Чукотского. Центры очищения развились во всех арктических морях, кроме моря Бофорта. Обширное разряжение развилось под архипелагом Новая Земля в юго-восточной части Карского моря. Гигантское разряжение, экстремально большое для июня, развилось в западной части моря Лаптевых. Очень большое разряжение развилось к северу от припая Новосибирских островов. Крупные локальные разряжения наблюдались в центральной прибрежной части Восточно-Сибирского и в юго-западной части Чукотского морей.

Во всех российских арктических морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости. В третьей декаде июня аномалии ледовитости в морях составили: в Баренцевом — – 22%, в юго-западной части Карского — – 24%, в западной части Лаптевых — – 41%, в западной части Восточно-Сибирского моря — – 17%, в Чукотском — – 26%.

Наблюдалось аномально большое отступление границы дрейфующих льдов в северо-восточной части моря Баренцева и в западной части моря Лаптевых. Очищение этих морей в первую очередь было связано с интенсивным дрейфом льда выносного характера, адвекцией тепла в эти районы и развитием тепловых процессов таяния и разрушения льда (рис. 2.1.10).

В море Бофорта развитие процессов очищения ото льда развивалось гораздо медленнее. Наблюдалось разрушение припая среди островов Канадского арктического архипелага, но припай в российских арктических морях сохранялся (рис. 2.1.10).

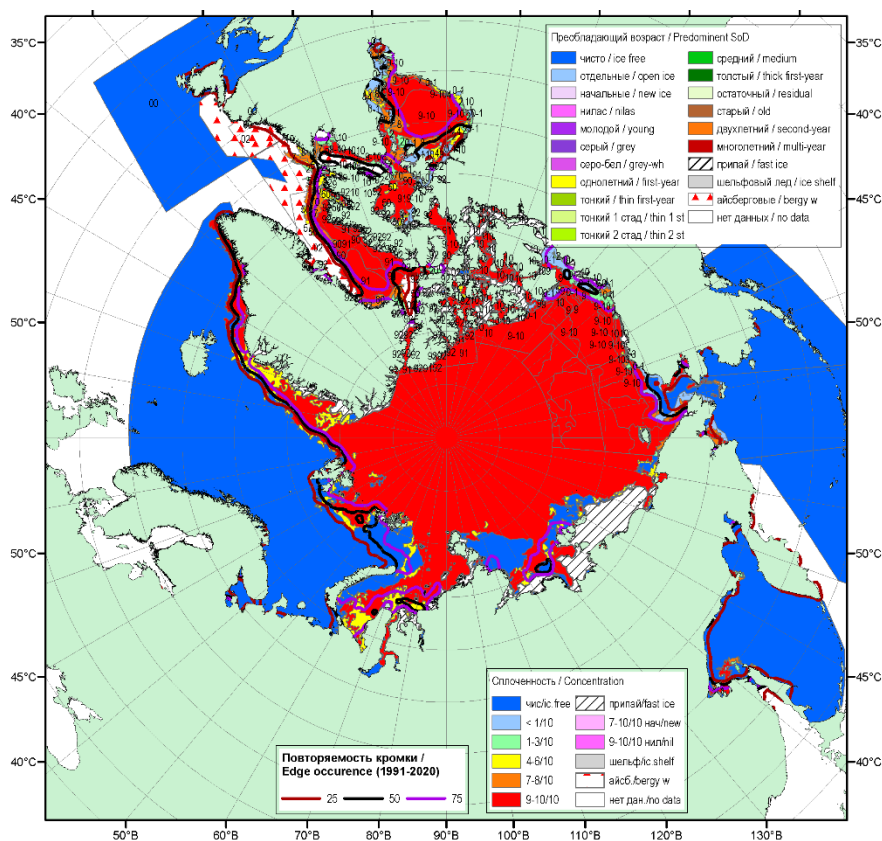


Рис. 2.1.10 Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 21 — 22 июня 2021 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США

В возрастном составе льда на начало активного таяния и разрушения льда преобладали однолетние толстые льды. Образование начальных и молодых льдов в окраинных морях прекратилось. Старые льды занимали не более 35% акватории океана. Однолетние льды, среди которых преобладали однолетние толстые льды, составляли около 60%. Остальную часть акватории океана занимали разряжения и полыньи вдоль побережий.

Основными очагами очищения морей послужили: прикромочная зона в северной части Баренцева моря, вся юго-западная часть Карского моря, а также западная часть и заприпайный район в море Лаптевых и район, прилегающий к Берингову проливу в Чукотском море (рис. 2.1.11).

В июне в поле дрейфа льда в СЛО наблюдалось развитие нескольких крупномасштабных структур дрейфа.

Произошедшие масштабные изменения в циркуляции атмосферы привели к формированию традиционных структур дрейфа – обширного циклонического круговорота в центральной части СЛО и менее развитого Канадского антициклонического круговорота, который был смещен в море Бофорта.

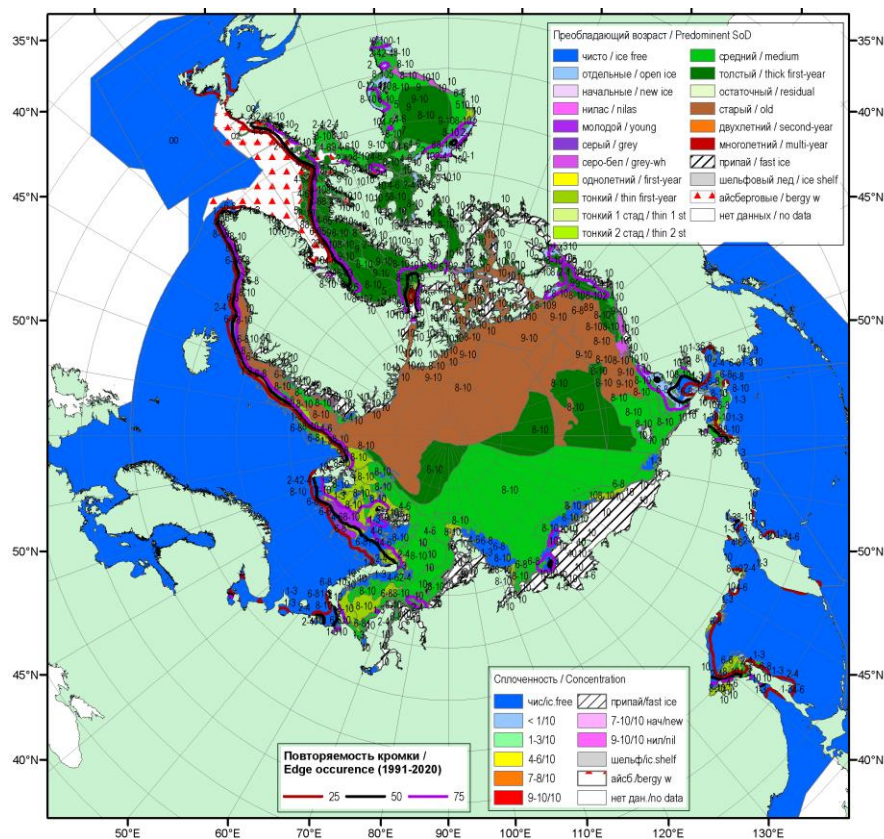
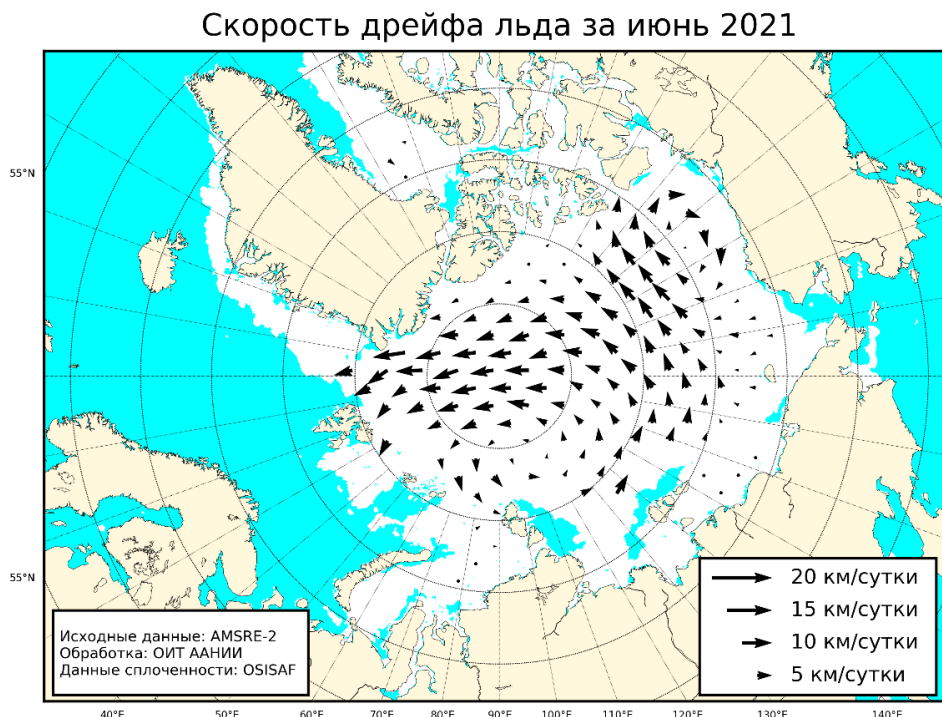


Рис. 2.1.11 Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 05 — 08 июня 2021 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США

Сформировавшийся циклонический вихрь охватывал обширную акваторию в центральной части СЛО. По южной периферии вихря наблюдался дрейф льда из северных частей морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, который выносился в приполюсный район. По северной периферии вихря лед дрейфовал вдоль побережья островов Канадского арктического архипелага и побережья Гренландии. Часть потока этой ветви вихря направлялась в пролив Фрама. Этот лед выносило из акватории СЛО. Вторая, гораздо меньшая ветвь циклонического вихря, приносила лед в северную часть Карского моря.

Канадский антициклонический круговорот получил менее выраженное развитие и существовал в виде обширного вихря с центром над морем Бофорта. Интенсивность и скорости дрейфа льда в Канадском антициклоническом круговороте были небольшими и составляли около 5 км/сутки (рис. 2.1.12).



**Рис. 2.1.12 Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июне 2021 г.,
восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений
льда в микроволновом диапазоне**

Общее количество льдов в СЛО в июне, по оценкам, выполненным в ААНИИ, составила 11 505,8 млн. км², что оказалось на 2,5% меньше среднееголетнего значения по ряду с 1978 — 2020 гг. Количество льда, наблюдавшееся в СЛО в конце июня 2021 г., оказалось очень близким по величине к среднему значению за десятилетний период 2011-2020 гг. и даже несколько превосходило его, особенно в секторе 95°E — 170°W (моря Лаптевых, Чукотское, Берингово и Охотское).

В целом же при сравнении площади ледяного покрова в СЛО со средними значениями за длинный ряд наблюдений с 1978 г. можно констатировать, что отрицательная аномалия общей площади льда, составившая – 2,5%, сформировалась главным образом за счет малой ледовитости, наблюдавшейся в секторах 45°W — 95°E (моря Гренландское, Баренцево и Карское) (табл.2.1.1).

При развитии площади ледяного покрова близкой к норме, толщина ледяного покрова была значительно меньше нормы по всему СЛО и его морям, что подтверждается модельными расчетами объема накопленного льда в СЛО. Ежедневные оценки объема морского льда СЛО на основе расчетов средневзвешенной толщины льда совместной модели морского льда — океана HYCOM/CICE Датского метеорологического института приведены на рис. 2.1.13. Как показывает модельный расчет объем накопленного льда в



СЛО в июне 2021 г. этот год занимает 3 — 4 место в ранге минимумов, превосходя только 2017 и 2020 гг. и приближаясь к значениям 2019 г.

Таблица 2.1.1

Медианные значения ледовитости в Северном Ледовитом океане в июне 2020 г. и её аномалии по данным наблюдений SSMR-SSM/I, алгоритм NASATEAM

Район	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2016 г	2017 г	2018 г	2019 г	2020 г.	2010-2020 гг.	1978-2020 гг.
Северный Ледовитый океан	11 505,8	453,9	-111,7	170,0	114,3	-175,5	39,1	-286,2
Сектор 45°W – 95°E (Гренландское - Карское моря)	3 150,7	320,9	-51,0	35,9	26,0	-120,9	16,2	-327,0
Сектор 95°E – 170°W (моря Лаптевых – Чукотское, Берингово, Охотское)	4 135,2	47,9	371,1	273,1	366,2	207,9	118,2	-64,2
Сектор 170°W – 45°W (море Бофорта и Канадская Арктика)	6 195,1	200,9	-43,7	179,0	255,4	-6,3	32,3	-63,9

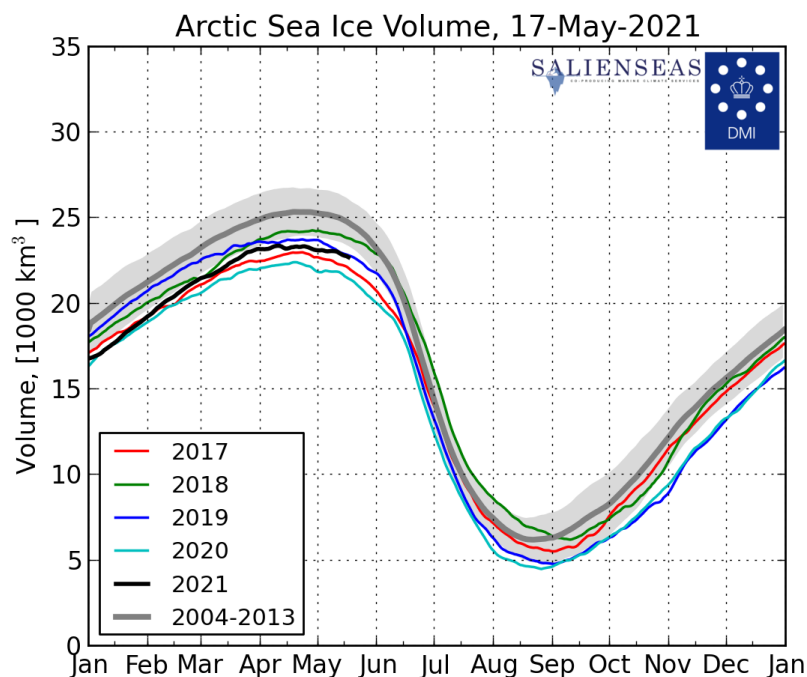


Рис. 2.1.13 Ежедневные оценки сезонного хода объема морского льда СЛО на основе расчетов средневзвешенной толщины льда совместной модели морского льда – океана NYSOM/CICE Датского метеорологического института с 01.01.2004 по 17.05.2021 гг.

Ход изменения кривой площади льдов в СЛО и его отдельных секторах представлен на рисунке 2.1.14. Хорошо видно, что в конце зимнего и в начале летнего сезонов развитие ледяного покрова в СЛО было близко к среднему многолетнему, но с началом таяния кривая переместилась в нижнюю часть пучка реализаций сезонного хода.

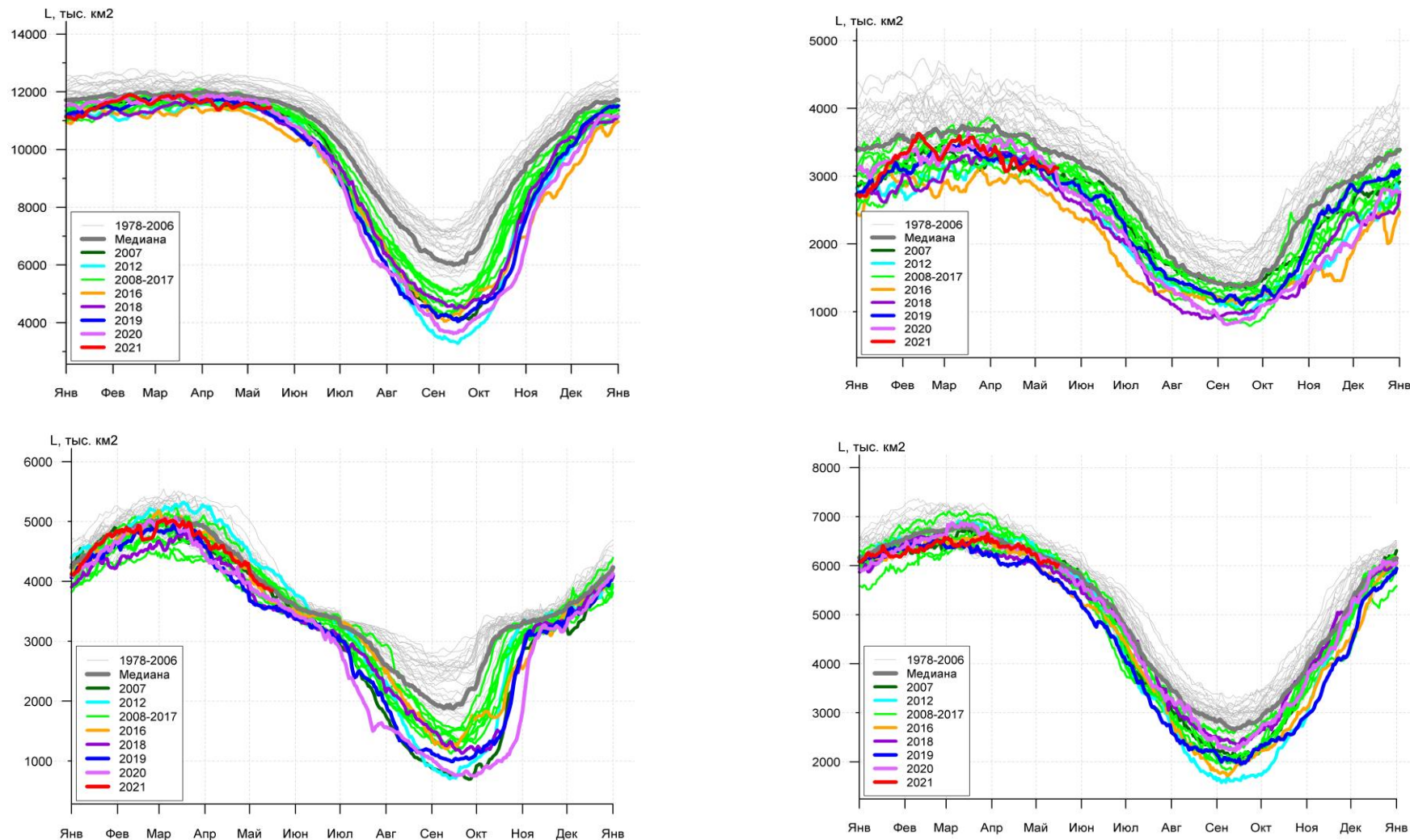


Рис. 2.1.14 Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости: а) - для Северного Ледовитого океана и меридиональных секторов б) - 45°W-95°E (Гренландское – Карское моря), в) - 95°E-170°W (моря Лаптевых – Чукотское и Берингово, Охотское) и г) - 170°W-45°W (море Бофорта и Канадская Арктика) за период 26.10.1978 - 23.06.2020 гг. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM



2.2 Ледово-гидрологические процессы в устьевых областях рек в весенний период

Обзор ледово-гидрологических условий на устьевых участках 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, и кодом КН-02-SEA с полярных станций, расположенных на устьевых взморьях рек Обь и Енисей.

Карское море

Наибольшее нарастание толщины льда на устьевых участках рек Обь, Таз и Енисей (п. Игарка) наблюдалось в январе, на устьевом участке реки Енисей (п. Дудинка) – в феврале. В п. Караул наибольшее нарастание наблюдалось в январе и марте. На реке Обь (п. Салехард) в конце апреля измерения не производились в связи с опасностью выхода на лед. В апреле на реке Енисей в районе п. Игарка нарастание льда не отмечалось. На реке Таз к концу апреля лед растаял на 3 см.

В таблице 2.2.1 приведены данные о наблюдаемой толщине льда и интенсивности его нарастания по месяцам с января по апрель.

Таблица 2.2.1

Толщина льда и интенсивность его нарастания от месяца к месяцу в 2021 г. на устьевых участках рек бассейна Карского моря

Река-пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см
Обь–Салехард	116	+42	148	+32	158	+10	-	-
Таз-Тазовское	84	+22	105	+21	115	+10	112	-3
Енисей-Игарка	74	+24	84	+10	88	+4	88	0
Енисей-Дудинка	93	+19	120	+27	144	+24	150	+6
Енисей - Караул	73	+17	86	+13	103	+17	112	+9

В таблице 2.2.2 приведены аномалии толщин льда на конец апреля, т.е. в период, близкий к максимальному нарастанию льда. На реках Обь и Енисей (п. Дудинка) толщины льда отмечены больше средних многолетних на 19 — 57 см. На реке Таз и Енисей (п. Игарка и п. Караул) — меньше среднемноголетних на 8 — 20 см.



Таблица 2.2.2

Толщины льда в апреле, см

Река	Пункт	Толщина льда на конец апреля, см		
		2021 г.	Средняя	Аномалия
Обь	Салехард	158*	101	+57
Таз	Тазовское	112	132	-20
	Игарка	88	96	-8
Енисей	Дудинка	150	131	+19
	Караул	112	134	-12

*— данные за 25 апреля

Высота снега на льду в конце апреля наблюдалась: на р. Таз 36 — 50 см, на р. Енисей от < 5 до 10 см. На р. Оби в конце апреля высота снега не отмечена.

В таблице 2.2.3 приведены сроки начала весеннего ледохода и очищения ото льда, а также их аномалии по отношению к средним многолетним датам.

Таблица 2.2.3

Сроки вскрытия рек

Река	Пункт	Даты начала ледохода			Даты очищения ото льда		
		2021 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2021 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь	Салехард	17.05	24.05	– 7	24.05	28.05	– 4
Таз	Тазовское	31.05	09.06	– 9	02.06	11.06	– 9
	Игарка	22.05	27.05	– 5	02.06	05.06	– 3
Енисей	Дудинка	03.06	03.06	0	10.06	10.06	0
	Караул	05.06	07.06	– 2	16.06	15.06	+1

Появление воды на льду и закраины на устьевом участке реки Оби отмечены в третьей декаде апреля. На реке Таз вода на льду появилась в конце третьей декады апреля, а закраины – в конце второй декады мая. На р. Енисей появление воды на льду и закраины наблюдались в первой и второй декадах мая. Подвижки льда на реке Обь отмечены в середине второй декады мая, на реках Таз и Енисей (п. Дудинка) во второй декаде мая. Заторы льда на устьевых участках рек бассейнов морей Карского моря не отмечены.

Весенний ледоход и очищение ото льда на устьевых участках рек Обь и Таз начались раньше среднемноголетних сроков на 4 — 9 дней. На реке Енисей весенние процессы отмечены в сроки, близкие к среднемноголетним.

Продолжительность весеннего ледохода на реках Таз, Обь и Енисей составила от 2 до 11 суток.

Процесс вскрытия *устьевых взморий* крупных рек, впадающих в Карское море, охарактеризован также на основе анализа данных наблюдений стационарной сети. На устьевом взморье р. Оби в настоящее время работает полярная станция Новый Порт, на



устьевом взморье р. Енисей — полярная станция Сопочная Карга.

В таблице 2.2.4 приведены данные о наблюдаемой толщине льда и интенсивности его ежемесячного нарастания с января по апрель.

Наибольшее нарастание толщины льда на устьевых взморьях рек Обь и Енисей наблюдалось в январе.

Таблица 2.2.4

**Толщина льда и интенсивность его нарастания от месяца к месяцу в 2021 г. на
устьевых взморьях крупных рек бассейна Карского моря**

Устьевое взморье- пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см
Обская губа– Новый Порт Енисейский	110	+47	152	+42	178	+26	184	+6
залив- Сопочная Карга	88	+30	114	+26	133	+19	146	+13

В таблице 2.2.5 приведены аномалии толщины льда на устьевом взморье на конец апреля, в период, близкий к максимальному нарастанию льда.

Таблица 2.2.5

Толщины льда в апреле, см

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда на конец апреля, см		
		2021 г.	Средняя	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	184	141	+43
Енисейский залив	Сопочная Карга	146	163	-17

Толщина льда в конце апреля на устьевом взморье реки Оби отмечена больше среднегодовое значение на 43 см, а на устьевом взморье р. Енисей меньше среднегодовое значение на 17 см.

Высота снега на льду в конце апреля составила 30 — 39 см в п. Новый Порт и 15 — 19 см в п. Сопочная Карга.

В таблице 2.2.6 приведены сроки взлома припая и очищения ото льда, наблюдаемые на полярных станциях Новый Порт и Сопочная Карга.



Таблица 2.2.6

**Сроки вскрытия устьевых взморий рек бассейна Карского моря по данным
стационарной сети в 2021 г.**

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2021 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Взлом припая	07.06	18.06	– 11
Обская губа	Новый Порт	Очищение ото льда	12.06	26.06	– 14
Енисейский залив	Сопочная Карга	Взлом припая	17.06	19.06	– 2
Енисейский залив	Сопочная Карга	Очищение ото льда	21.06	26.06	– 5

Вода на льду на устьевых взморьях рек бассейна Карского моря отмечена во второй декаде мая. Взлом припая и очищение устьевых участков рек Обь и Енисей произошел в сроки, раньше среднемноголетних на 2 — 14 дней.

Продолжительность ледохода в Обской губе и в Енисейском заливе составила 4 — 5 дней.

Море Лаптевых

Наибольшее нарастание толщины льда на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых отмечено в январе, кроме п. Тюмети (р. Оленек), где наибольшее нарастание толщины льда наблюдалось в феврале. В марте и апреле продолжалось нарастание толщины льда, кроме устьевого участка р. Лена (п. Кюсюр), где нарастание льда с марта прекратилось, а также рек Яна и Хатанга, где к концу периода толщина льда уменьшилась на 9 и 14 см соответственно.

В таблице 2.2.7 приведены данные о наблюдаемой толщине льда и интенсивности его нарастания по месяцам с января по апрель.



Таблица 2.2.7

**Толщина льда и интенсивность его нарастания от месяца к месяцу в 2021 г. на
устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых**

Река-пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см
Хатанга-Хатанга	118	+36	144	+26	147	+3	133	-14
Оленек- Тюмети	59	+10	71	+12	84	+13	91	+7
Оленёк-Усть- Оленёк	96	+25	117	+21	130	+13	143	+13
Лена- Кюсюр	159	+74	169	+10	169	0	169	0
Лена-Хабарово	152	+56	180	+28	197	+17	212	+15
Яна- Юбилейная	63	+15	73	+10	86	+13	77	-9

В таблице 2.9 приведены аномалии толщины льда на конец апреля, когда толщина льда близка к максимальной.

Таблица 2.2.8

Толщины льда в апреле, см

Река	Пункт	Толщина льда на конец апреля, см		
		2021 г.	Средняя	Аномалия
Хатанга	Хатанга	133	151	- 18
Оленёк	Тюмети	91	136	- 45
	Усть-Оленёк	143	190	- 47
Лена	Кюсюр	169	173	- 4
	Хабарово	212	224	- 12
Яна	Юбилейная	77	150	- 73

Толщина льда в апреле на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых наблюдалась значительно ниже среднемноголетних значений от 4 до 73 см.

Высота снега на льду в конце апреля на реке Оленек составила 26 — 50 см, на Хатанге и Лене (п. Кюсюр) — 21 — 25 см, на реке Яне — 16 – 20 см. В устьевой части реки Лена (п. Хабарово) снега в конце апреля не наблюдалось.

В таблице 2.2.9 приведены сроки вскрытия устьевых участков рек бассейна моря Лаптевых и их аномалии по отношению к средним многолетним значениям.

Таблица 2.2.9

Сроки вскрытия рек

Река	Пункт	Даты начала ледохода			Дата очищения ото льда		
		2021 г.	Средняя	Аномалия я, сутки	2021 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга	Хатанга	02.06	11.06	- 9	13.06	16.06	- 3
Оленёк	Тюмети	20.05	01.06	- 12	31.05	11.06	- 11
	Усть-Оленёк	07.06	15.06	- 8	10.06	19.06	- 9
Лена	Кюсюр	27.05	31.05	- 4	02.06	08.06	- 6
	Хабарово	30.05	06.06	- 7	07.06	12.06	- 5
Яна	Юбилейная	21.05	28.05	- 7	28.05	05.06	- 8



На устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых появление воды на льду и закраины наблюдались в третьей декаде мая, кроме рек Хатанга, Яна и Оленёк (п. Тюмети), где закраины не отмечены. Подвижки на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых наблюдались только на реке Хатанга также в третьей декаде мая. На реках Лена (п. Кюсюр) и Оленек (п. Тюмети) в третьей декаде мая процесс вскрытия сопровождался образованием заторов.

Весенний ледоход и очищение ото льда повсеместно начался в сроки, раньше среднемноголетних на 3 — 12 дней. Продолжительность ледохода составила на реках: Хатанга — 11 дней, Оленек — от 3 до 11 дней, Лена от 6 до 8 дней, Яна — 7 дней.

Восточно-Сибирское море

Максимальное нарастание толщины льда в устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря наблюдалось: на реке Индигирке — в январе, на реке Колыме — в феврале. В конце апреля на реке Колыме (п. Черский) наблюдалось таяние.

В таблице 2.2.10 приведены данные о наблюдаемой толщине льда и о его нарастании за месяц с января по апрель на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря.

Таблица 2.2.10

Толщина льда и интенсивность его нарастания от месяца к месяцу в 2021 г. на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря

Река-пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см	Толщина льда, см	Нарастание за месяц, см
Индигирка-Чокурдах	100	+20	118	+18	134	+16	143	+9
Колыма-Колымское	78	+17	101	+23	115	+14	121	+6
Колыма- Черский	90	+18	109	+19	120	+11	118	– 2

В таблице 2.2.11 приведены толщины льда и их аномалии на конец апреля, в период, близкий к максимальной толщине льда.

Таблица 2.2.11

Толщины льда в апреле, см

Река	Пункт	Толщина льда на конец апреля, см		
		2021 г.	Средняя	Аномалия
Индигирка	Чокурдах	143	163	– 20
Колыма	Колымское	121	140	– 19
Колыма	Черский	118	138	– 20

Толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек Индигирка и Колыма наблюдались меньше среднемноголетних значений на 19 — 20 см. Снега на льду в этот



период не отмечено.

В таблице 2.2.12 приведены сроки вскрытия устьевых участков рек бассейна Восточно-Сибирского моря.

Таблица 2.2.12

Сроки вскрытия рек

Река	Пункт	Даты начала ледохода			Дата очищения ото льда		
		2021 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2021 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Индигирка	Чокурдах	29.05	06.06	– 8	31.05	09.06	– 9
Колыма	Колымское	26.05	29.05	– 3	29.05	03.06	– 5
Колыма	Черский	29.05	01.06	– 3	31.05	06.06	– 6

Вода на льду на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря была отмечена во второй декаде мая (кроме п. Черский, где вода на льду не отмечена). Появление закраин наблюдалось в конце второй — начале третьей декады мая. Подвижки на реках Индигирка и Колыма (п. Колымское) наблюдались в третьей декаде мая. Затор льда на реке Индигирка отмечался 30 мая. На устьевых участках реки Колыма заторы не наблюдались.

Продолжительность ледохода составила 2 — 3 дня. Весенний ледоход и очищение ото льда на реках Индигирка и Колыма начался раньше среднемноголетних сроков на 3 — 9 дней.



3 Гидрологические и гидрохимические условия Северного Ледовитого океана и его морей с апреля по июнь 2021 г.

3.1 Термохалинные условия

Анализ термохалинного состояния вод Северного Ледовитого океана (СЛО) во втором квартале 2021 г. выполнен на основании данных автономных дрейфующих комплексов ИТР (Ice-Tethered Profiler), оснащенных профилографами, обеспечивающим непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760-метрового слоя вод (табл. 3.1.1, рис. 3.1.1).

Таблица 3.1.1

Сведения о наблюдениях за температурой и соленостью, выполненных на акватории СЛО во втором квартале 2021 г. и загруженных в БДТХ отдела океанологии АНИИ

№ п/п	Экспедиция	Дата первой и последней станций		Число станций
1	ИТР 120	01.04.2020	30.06.2020	364
2	ИТР 121	01.04.2020	25.06.2020	182

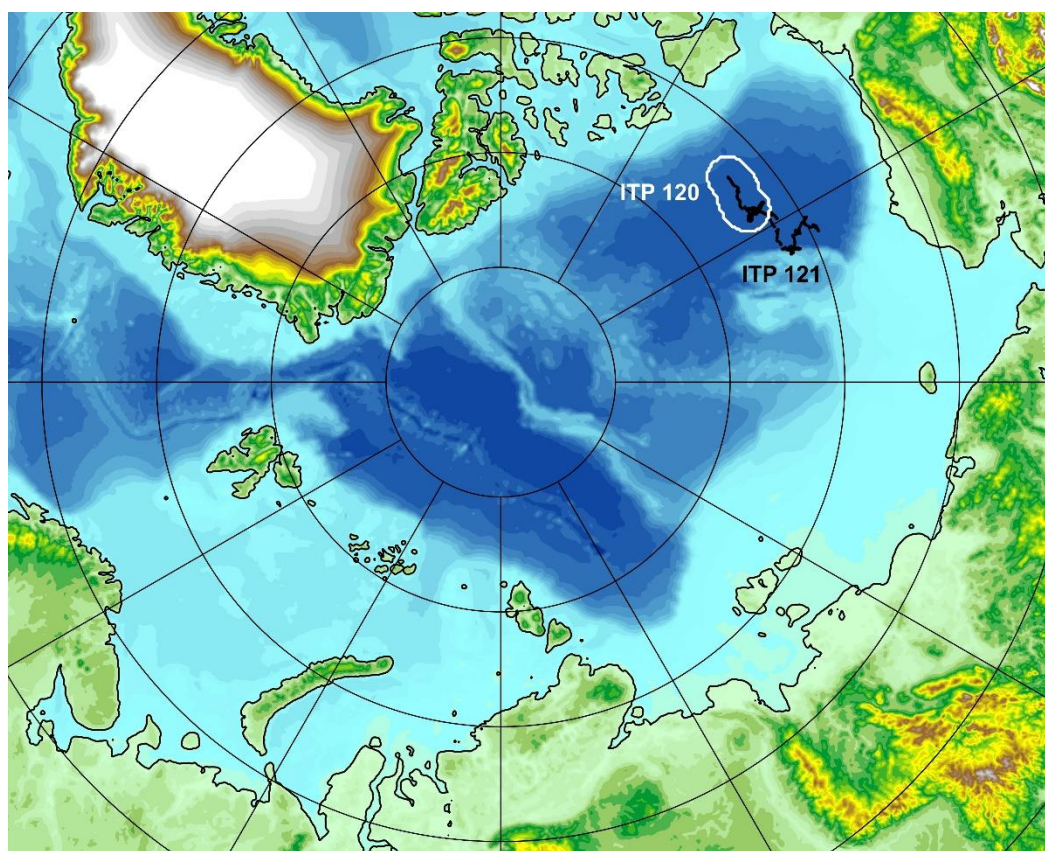


Рис. 3.1.1 Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО во втором квартале 2021 г. и занесенных в БД термохалинных характеристик отдела океанологии АНИИ



Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО во втором квартале 2021 г. был осуществлен анализ вертикального распределения значений температуры и солености в предварительно выделенной группе океанографических станций. В качестве таковой использовались данные ИТР 120 в Канадской глубоководной котловине (рис. 3.1.1). В выделенной группе станций рассчитывались основные статистические характеристики (среднее, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения) вертикальных профилей температуры и солености. При дальнейшем анализе полученные статистические характеристики сравнивались с климатическими средними и их стандартными отклонениями, рассчитанными в период с 1900 по 2000 гг. для этого же района. Область поиска исторических данных (рис. 3.1.1, белый контур) был на 50 — 100 км шире по сравнению с областью расположения океанографических станций, используемых для анализа в 2021 году.

Амеразийский суббассейн

Во втором квартале 2021 г. распределение термохалинных характеристик по глубине в центральной части Канадской глубоководной котловины по данным ИТР 120 соответствовало тенденциям, наблюдающимся на протяжении последних нескольких лет.

Поверхностный слой по-прежнему демонстрирует существенное распреснение (27,7 ‰) в сравнении с климатической нормой (30,5 ‰). Значение отрицательной аномалии поверхностной солености составило – 2,8 ‰ (рис. 3.1.2). В аналогичный период 2020 г. аномалия поверхностной солености составила – 1,7 ‰, в 2019 г. — – 3,1 ‰, в 2018 г. — – 2,5 ‰, в 2017 г. — – 2,1 ‰. Температура верхнего перемешанного слоя варьировалась в пределах – 1,4 °С и незначительно превышала климатическое среднее (– 1,7 °С), вследствие повышения температуры замерзания воды из-за наличия распресненного слоя.

Под верхним перемешанным слоем глубже 35 м расположен слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), который является характерной особенностью Амеразийского суббассейна СЛО. Для этого слоя характерно наличие промежуточного максимума температуры воды в слое с соленостью от 31 до 33 ‰. Максимальное значение температуры слоя ЛТВ по данным ИТР 120 на горизонте 60 м составило 0,48 °С, превышая климатическую норму на 1,7 °С. В 2020 г. аномалия температуры ядра ЛТВ составила 2,2 °С, в 2019 г. — 1,5 °С, в 2018 г. — 1,2 °С.

Так же, как и в предыдущие периоды, отмечалось увеличение глубины залегания нижней границы ЛТВ, которая составила 165 м.



На глубинах от 170 до 210 м в Канадской глубоководной котловине залегают так называемые зимние тихоокеанские воды, затекающие через Берингов пролив и смешивающиеся с водами Чукотского моря в холодный период. Эти воды в Арктическом бассейне характеризуются низкими значениями температуры и соленостью равной 33,1 ‰, наблюдаемой в ядре данной прослойки. Характерной особенностью последних лет является заглубление ядра зимних тихоокеанских вод. По данным ИТР 120 ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 190 — 200 м, в то время как по климатическим средним ядро наблюдалось на 150 м.

Глубже 210 м в Канадской глубоководной котловине наблюдается постепенное повышение температуры воды, обусловленное теплоотдачей атлантической водной массы (АВ). Верхняя граница слоя данной прослойки (0 °С) по данным второго квартала 2021 располагалась на глубине 320 м (в 2020 г. — 320 м, в 2019 г. — 310 м, в 2018 г. — 325 м, в 2017 г. — 295 м).

Максимальное значение температуры воды в ядре АВ составило 0,82 °С (500 м глубины), что на 0,34 °С выше климатической нормы. Полученные оценки аномалий температуры АВ в 2021 г. полностью соответствуют значениям предшествующего 2020 г., что свидетельствует об отсутствии как положительного, так и отрицательного тренда температуры АВ в Амеразийском суббассейне СЛО.

Основные выводы

Согласно результатам наблюдений, выполненных во втором квартале 2021 г., гидрологический режим СЛО (Амеразийском суббассейне) продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему. Распределение поверхностной солености характеризуется наличием выраженной отрицательной аномалии (-2,8 ‰) в центральной части Канадской глубоководной котловины. Сохраняется положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ), значение которой в Канадской глубоководной котловине составило +0,34 °С. Также как и АВ, летние тихоокеанские воды характеризуются повышенной температурой, превышающей климатическое среднее на 1,7 °С.

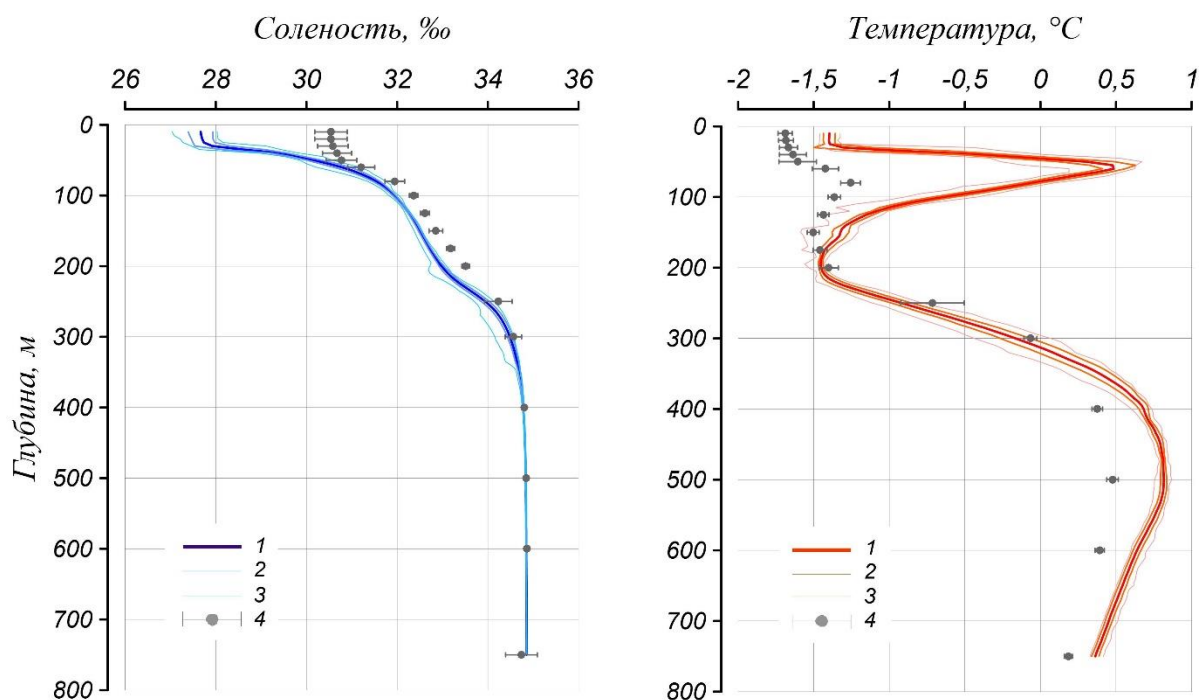


Рис. 3.1.2 Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в апреле-июне 2021 г. по результатам измерений профилографа ИТР 120

1 — профиль средних значений, 2 — область стандартного отклонения, 3 — минимальные и максимальные значения наблюдаемых характеристик, 4 — средние климатические значения и их стандартные отклонения, рассчитанные по историческим данным базы термохалинных характеристик СЛО отдела океанологии ААНИИ за апрель-июнь в период с 1900 по 2000 гг.

Согласно результатам наблюдений, выполненных во втором квартале 2021 г., гидрологический режим СЛО (Амеразийском суббассейне) продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему. Распределение поверхностной солёности характеризуется наличием выраженной отрицательной аномалии ($-2,8 \text{ ‰}$) в центральной части Канадской глубоководной котловины. Сохраняется положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ), значение которой в Канадской глубоководной котловине составило $+0,34 \text{ °C}$. Также как и АВ, летние тихоокеанские воды характеризуются повышенной температурой, превышающей климатическое среднее на $1,7 \text{ °C}$.

3.2 Уровень арктических морей

Характеристика особенностей колебаний уровня арктических морей за период с апреля по июнь 2021 года составлена по данным четырехсрочных наблюдений на 12-ти станциях, расположенных в морях Карском и Лаптевых (таблица 3.2.1). В Восточно-



Сибирском и Чукотском морях наблюдения за уровнем моря не производились ни на одной из станций.

Таблица 3.2.1

Полярные станции, на которых осуществлялись наблюдения за колебаниями уровня в период апрель – июнь 2021 г.

Станция	Широта	Долгота
Карское море		
им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос)	70 27 N	59 05 E
Амдерма	69 45 N	61 42 E
Усть-Кара	69 15 N	64 31 E
Новый Порт	67 41 N	72 53 E
Сопочная Карга	71 52 N	82 42 E
о. Диксон	73 30 N	80 24 E
Мыс Стерлегова	75 25 N	88 54 E
ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина)	77 43 N	104 17 E
Море Лаптевых		
Анабар	73 13 N	113 30 E
м. Кигилях	73 20 N	139 52 E
пр. Санникова	74 40 N	138 54 E
о. Котельный	76 00 N	137 52 E

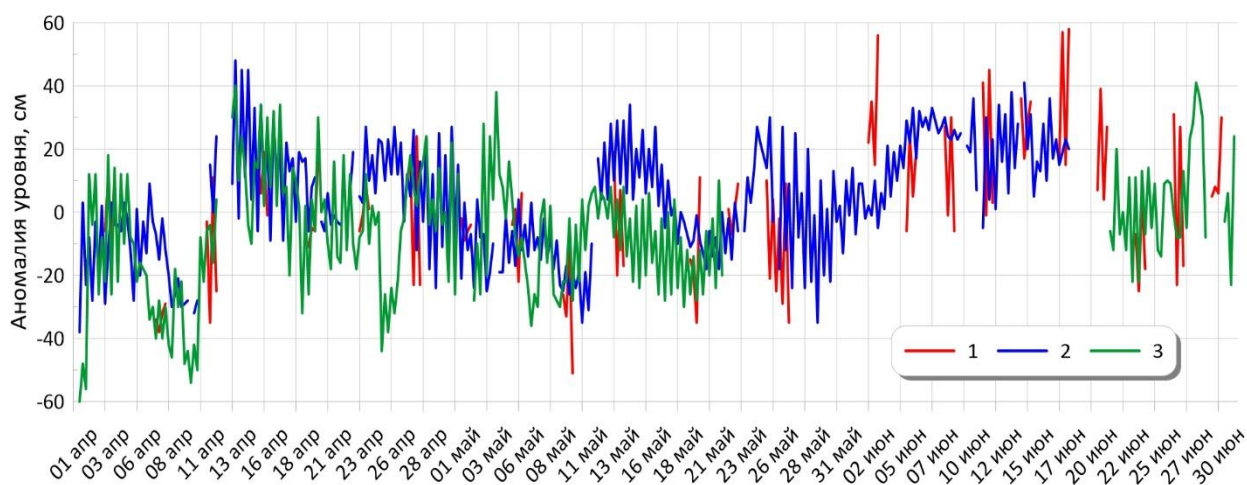


Рис. 3.2.1 Колебания уровня на станциях юго-западной части Карского моря в апреле – июне 2021 г.

(1 – Амдерма; 2 – им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос); 3 – Усть-Кара)



Таблица 3.2.2

Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях юго-западной части Карского моря в апреле – июне 2021 г.

Станция	Хар-ки	Месяц		
		Апрель	Май	Июнь
им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос)	h_{cp} (см)	– 1	0	–
	σ_h (см)	19	19	–
	h_{min} (см)	– 40	– 45	–
	Дата	9	9	–
	h_{max} (см)	46	40	–
	Дата	13	3	–
Амдерма	h_{cp} (см)	–	–	–
	σ_h (см)	–	–	–
	h_{min} (см)	–	–	–
	Дата	–	–	–
	h_{max} (см)	–	–	–
	Дата	–	–	–
Усть-Кара	h_{cp} (см)	– 7	–	–
	σ_h (см)	22	–	–
	h_{min} (см)	– 60	–	–
	Дата	1	–	–
	h_{max} (см)	40	–	–
	Дата	13	–	–

Примечание: h_{cp} – среднемесячный уровень; σ_h – среднеквадратическое отклонение уровня; h_{min} – минимальный уровень; h_{max} – максимальный уровень

Для юго-западной части Карского моря (рис. 3.2.1, табл. 3.2.2) по данным станций им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос), Амдерма и Усть-Кара довольно сложно оценить особенности колебания уровня моря во втором квартале 2021 года из-за большого количества пропусков в данных. На станции Амдерма запись высоты уровня моря производилась раз в 4 дня, на станциях Усть-Кара полные данные имеются только для апреля, а на станции им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос) — только для апреля и мая. В целом можно отметить, что в апреле колебания уровня моря в этой части арктического бассейна происходили в основном на пониженном фоне. Для станций им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос) и Усть-Кара в мае месяце так же наблюдались в основном отрицательные аномалии уровня моря. По обрывочным данным со станции Амдерма можно сказать о том, что в июне аномалия уровня моря стала положительной.

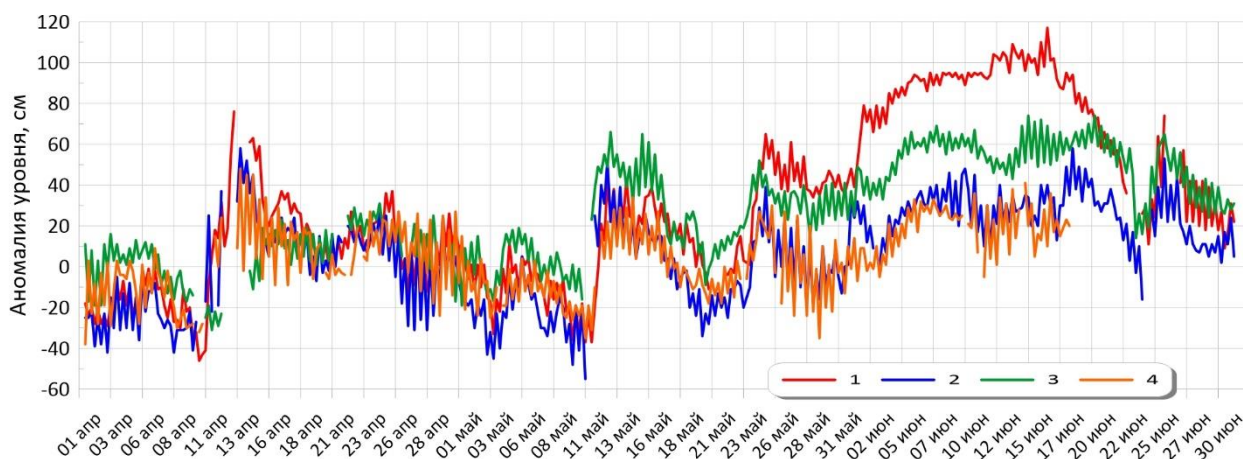


Рис. 3.2.2 Колебания уровня на станциях северо-восточной части Карского моря в апреле – июне 2021 г.

1 – Сопочная Карга; 2 – Мыс Стерлегова; 3 – о. Диксон; 4 – ГМО им. Е.К. Федорова (м. Челюскина)

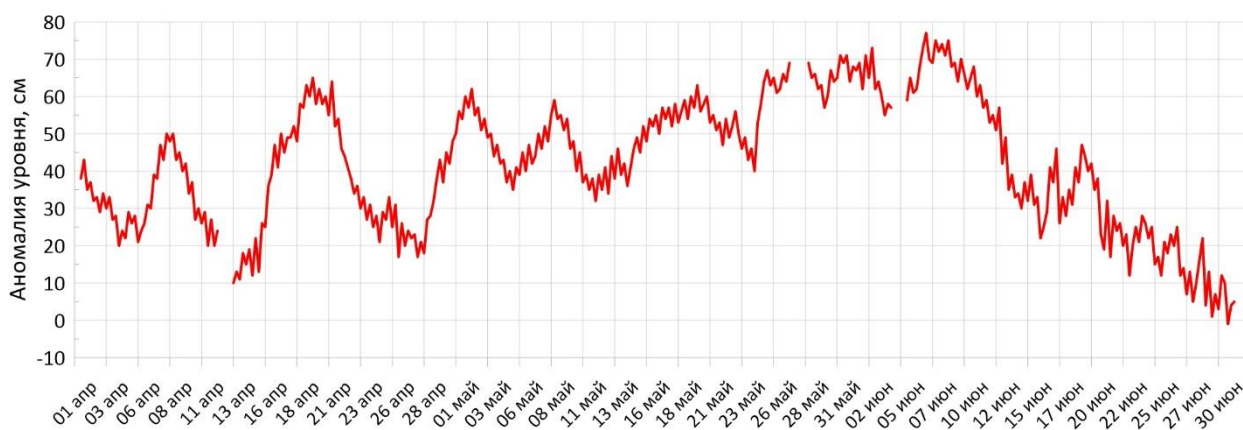


Рис. 3.2.3 Колебания уровня на станции в Обской губе Карского моря (Новый Порт) в апреле – июне 2021 г.

На северо-востоке Карского моря (рис. 3.2.2, табл. 3.2.3) на станциях Мыс Стерлегова, ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина), Сопочная Карга и о. Диксон в первой половине апреля колебания уровня происходили на пониженном фоне. В середине апреля произошёл резкий подъём уровня до значений выше среднемноголетних. В это же время наблюдались максимальные апрельские значения уровня моря (Сопочная Карга — +76 см, мыс Стерлегова — +58 см, ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина) — +48 см). До начала второй декады мая происходило плавное понижение уровня моря, после чего вновь произошёл резкий подъём уровня поверхности. В июне месяце, по причине начала весеннего паводка на реках, наблюдался самый высокий уровень: на о. Диксон — +74 см, на станции Сопочная Карга — +117 см, на Мысе Стерлегова — +58 см.



На станции Новый Порт (Обская Губа) (рис. 3.2.3, табл. 3.2.3) в течение всего второго квартала уровень моря колебался выше среднемноголетних значений. Наибольшие значения уровня наблюдались здесь во второй половине мая и в начале июня. Максимальная аномалия уровня была отмечена 6 июня и составила +77 см.

Таблица 3.2.3

Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях северо-восточной части Карского моря и Обской губы в апреле – июне 2021 г.

Станция	Хар-ки	Месяц		
		Апрель	Май	Июнь
Новый Порт (Обская губа)	h_{cp} (см)	35	52	39
	σ_h (см)	13	10	22
	h_{min} (см)	10	32	– 1
	Дата	13	11	30
	h_{max} (см)	65	71	77
	Дата	19	30	6
о. Диксон	h_{cp} (см)	5	21	51
	σ_h (см)	14	20	13
	h_{min} (см)	– 31	– 17	14
	Дата	11	3	23
	h_{max} (см)	31	66	74
	Дата	24	12	14
Сопочная Карга	h_{cp} (см)	5	14	74
	σ_h (см)	24	25	28
	h_{min} (см)	– 46	– 37	9
	Дата	10	10	30
	h_{max} (см)	76	65	117
	Дата	12	24	16
м. Стерлегова	h_{cp} (см)	– 2	– 5	26
	σ_h (см)	23	21	13
	h_{min} (см)	– 42	– 55	– 16
	Дата	2	10	23
	h_{max} (см)	58	52	58
	Дата	13	12	18
ГМО им. Е.К. Федорова (м. Челюскина)	h_{cp} (см)	2	– 3	–
	σ_h (см)	18	16	–
	h_{min} (см)	– 38	– 35	–
	Дата	1	10	–
	h_{max} (см)	48	34	–
	Дата	13	14	–

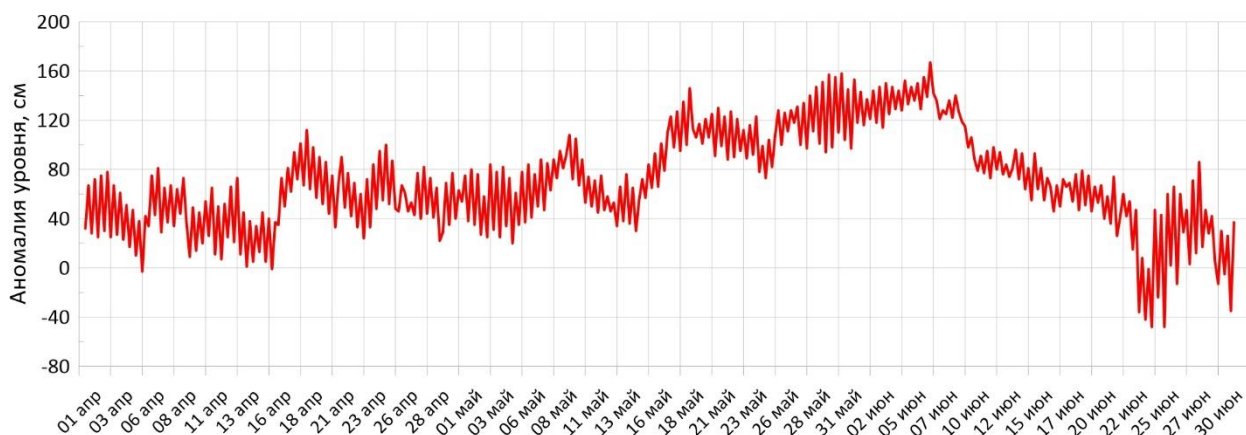


Рис. 3.2.4 Колебания уровня в юго-западной части моря Лаптевых (Анабар) в апреле – июне 2021 г.

Таблица 3.2.4

Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях моря Лаптевых в апреле – июне 2021 г.

Станция	Хар-ки	Месяц		
		Апрель	Май	Июнь
Анабар	h_{cp} (см)	50	88	74
	σ_h (см)	25	33	50
	h_{min} (см)	– 3	20	– 48
	Дата	5	4	24
	h_{max} (см)	112	158	167
	Дата	18	30	6
м. Кигилях	h_{cp} (см)	8	4	8
	σ_h (см)	5	6	8
	h_{min} (см)	– 1	– 5	– 4
	Дата	30	10	27
	h_{max} (см)	17	15	31
	Дата	12	17	28
пр. Санникова	h_{cp} (см)	2	– 1	25
	σ_h (см)	12	9	12
	h_{min} (см)	– 24	– 17	– 7
	Дата	10	20	26
	h_{max} (см)	26	25	51
	Дата	26	31	5
о. Котельный	h_{cp} (см)	– 6	– 20	18
	σ_h (см)	22	21	21
	h_{min} (см)	– 48	– 58	– 34
	Дата	8	11	1
	h_{max} (см)	49	37	68
	Дата	19	16	28

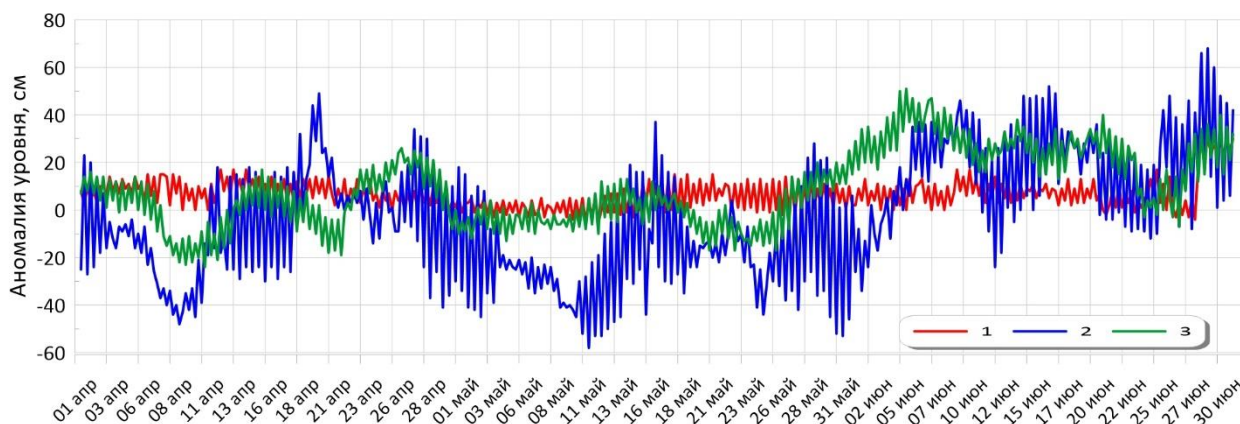


Рис. 3.2.5 Колебания уровня на станциях восточной части моря Лаптевых в апреле – июне 2021 г.

(1 – м. Кигилях; 2 – о. Котельный; 3 – пр. Санникова)

В юго-западной части моря Лаптевых по данным станции Анабар (рис. 3.2.4, табл. 3.2.4) колебания уровня происходили на повышенном фоне. В апреле аномалия среднего уровня здесь составила +50 см. В мае уровень значительно поднялся, но максимальное значение было достигнуто 6 июня (+167 см). После этого уровень моря в течение всего июня опускался до среднемноголетнего значения и даже ниже.

На востоке моря Лаптевых по данным станций пр. Санникова и о. Котельный (рис. 3.2.5, табл. 3.2.4) уровень моря колебался на пониженном фоне, хотя время от времени на этих станциях наблюдались довольно существенные нагоны. На станции остров Котельный 19 апреля уровень поднялся на 49 см выше среднемноголетнего значения, а 16 мая на 37 см. На станции пролив Санникова 26 апреля наблюдался подъем уровня до +26 см. Как и на всех станциях арктических морей, заметный подъём уровня на востоке моря Лаптевых произошёл в июне. Средняя аномалия уровня на станциях пролив Санникова и остров Котельный составила +25 и +18 см соответственно. Наибольший уровень моря на станции пролив Санникова был зафиксирован 5 июня (+51 см), а на станции остров Котельный – 28 июня (+68 см).

На станции мыс Кигилях (рис. 3.2.5, табл. 3.2.4) в течение всего квартала уровень моря колебался около средней отметки +8 см, и существенных подъёмов или опусканий уровня поверхности здесь не происходило.

Наблюдений за колебаниями уровня на станциях, расположенных в Восточно-Сибирском и Чукотском морях во втором квартале 2021 г. не производилось, в связи с чем, дать какую-либо оценку особенностей колебаний уровня этого моря не представляется возможным.



3.3 Ветровое волнение на акватории арктических морей во 2 квартале 2021 г.

По результатам модельных расчетов была выполнена оценка повторяемости максимумов значительных высот волн (H_s — significant wave height, обеспеченность 13 %) в арктических морях России с апреля по июнь 2021 г. Расчеты и прогнозы ветрового волнения осуществлялись по авторской технологии, основанной на спектрально-параметрической модели (СПМ) ветрового волнения ААНИИ (AARI-PD2). В 2010 г. данная технология была представлена на ЦМКП и решением комиссии рекомендована к использованию в ААНИИ для выполнения оперативных прогнозов на акватории морей Российской Арктики. Положение кромки льда при расчетах задавалось по ежедневным спутниковым многоканальным микроволновым данным (SSM/I) и уточнялось по еженедельным данным диагноза сплоченности льда ААНИИ. Расчеты проводились для морей Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Сведения о распределении высот волн H_s для этих морей приведены в таблицах 3.3.1 — 3.3.5.

Таблица 3.3.1

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s) в Баренцевом море во втором квартале 2021 г.

Месяц	Высота волн, м						
	0 — 1	1 — 2	2 — 3	3 — 4	4 — 5	5–6	6–7
Апрель	–	–	10	11	4	4	1
Май	–	6	11	13	1	–	–
Июнь	–	5	15	9	1	–	–
Итого	–	11	36	33	6	4	1

Как видно из таблицы 3.3.1, во втором квартале 2021 г. на акватории Баренцева моря в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 2 до 4 м. Наиболее штормовым месяцем стал апрель, в котором максимальная расчетная высота волн на акватории Баренцева моря превысила 6 м (6 апреля в 12 и 18 ч UTC). Самый продолжительный шторм с высотами волн более 5 м был также в апреле, продолжительность шторма составила 3 дня (с 10 по 12 апреля).

На рисунке 3.3.1, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн H_s на акватории Баренцева моря на 12 ч UTC 6 апреля 2021 г.

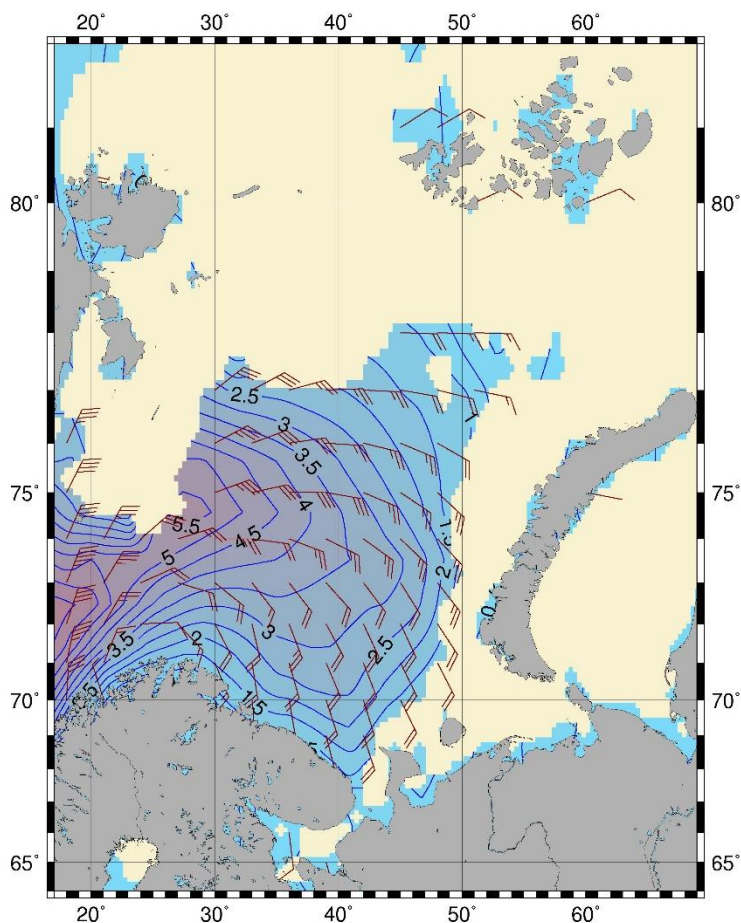


Рисунок 3.3.1 Поле ветра и высоты волн (H_s , м) в Баренцевом море
на 12 ч UTC 06 апреля 2021 г.

Карское море стало открываться в конце мая - начале июня у берегов Новой Земли и п-ова Ямал. В конце июня область чистой воды занимала третью часть Карского моря.

В июне на акватории Карского моря в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот волн от 0,5 до 2 м. Максимальная расчетная высота волны не превышала 3,0 м (26 июня на 00 ч UTC).

В таблице 3.4.2 приведены сведения о распределении высот волн H_s на чистой воде для Карского моря во втором квартале 2021 г.

Таблица 3.3.2

Повторяемость (число дней) различных градаций высот волн (H_s) в Карском море во втором квартале 2021 г.

Месяц	Высота волн, м		
	0–1	1–2	2–3
Июнь	13	12	5
Итого	13	12	5



Море Лаптевых стало открываться в конце мая — начале июня. В конце мая области чистой воды образовались в западной части моря у берегов Северной Земли и Таймырского п-ова, а также около припая в юго-восточной части моря. К концу июня в западной части моря между $76 — 80^{\circ}$ с.ш. образовалась обширная область чистой воды. Расчетная высота волны на чистой воде в основном была от 1 до 2 м, максимальная высота не превышала 3,0 м (8 и 9 июня).

В таблице 3.3.3 приведены сведения о распределении высот волн H_s на чистой воде для моря Лаптевых во втором квартале 2021 г.

Таблица 3.3.3

Повторяемость (число дней) различных градаций высот волн (H_s) в море Лаптевых во втором квартале 2021 г.

Месяц	Высота волн, м		
	0–1	1–2	2–3
Июнь	9	18	3
Итого	9	18	3

Восточно-Сибирское море в апреле было покрыто льдом. В конце мая - начале июня появилась небольшая область чистой воды севернее Новосибирских о-вов, которая расширилась в течение месяца от $75 — 76^{\circ}$ до 77° с.ш. Расчетная высота волны на чистой воде в основном была от 0,5 до 1,5 м, максимальная расчетная высота волн севернее Новосибирских о-вов не превышала 2,5 м (27 июня). В таблице 3.3.4 приведены сведения о распределении высот волн H_s на чистой воде для Восточно-Сибирского моря во втором квартале 2021 г.

Таблица 3.3.4

Повторяемость (число дней) различных градаций высот волн (H_s) в Восточно-Сибирском море во втором квартале 2021 г.

Месяц	Высота волн, м		
	0–1	1–2	2–3
Июнь	17	12	1
Итого	17	12	1

Чукотское море стало открываться в конце мая. К концу июня область чистой воды доходила до 71° с.ш. Высота волны в основном была от 1 до 2 м, максимальная высота не превышала 3,0 м (3 и 26 июня). В таблице 3.3.5 приведены сведения о распределении высот волн H_s на чистой воде для Чукотского моря во втором квартале 2021 г.



Таблица 3.3.5

**Повторяемость (число дней) различных градаций высот волн (H_s) в Чукотском море
во втором квартале 2021 г.**

Месяц	Высота волн, м		
	0–1	1–2	2–3
Май (с 25 мая)	4	3	–
Июнь	8	16	6
Итого	12	19	6