

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

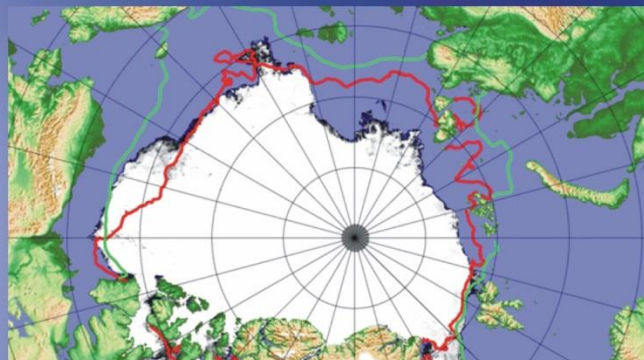


Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический научно-
исследовательский институт

ОБЗОР

гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане

III квартал 2020





СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Метеорологические условия в Северной полярной области в июле — сентябре 2020 г..	4
1.1 Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария	4
1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области	17
2 Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях в июле — сентябре 2020 года.....	27
3 Гидрологические и гидрохимические условия Северного Ледовитого океана и его морей в 2020 г.	44
3.1 Термохалинные условия.....	44
3.1.1 Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО	45
3.2 Уровень арктических морей.....	47
3.3 Ветровое волнение на акватории арктических морей в 3 квартале 2020 г.....	53
Список литературы	58



ВВЕДЕНИЕ

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в 3 квартале 2020 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 научный руководителем ААНИИ, чл.-корр. РАН, д-ром геогр. наук И.Е. Фроловым.

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

1 Метеорологические условия в Северной полярной области в июле — сентябре 2020 г.

1.1 Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария

В данном разделе приводятся основные результаты мониторинга атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба и метеорологических условий в полярном районе Северного полушария за период с июля по сентябрь 2020 г.

Анализ и оценка тенденций развития процессов в первом квартале проводился с учетом процессов за предшествующий период январь — июнь 2020 г., особенности которого более подробно были представлены ранее.

При анализе и диагнозе крупномасштабных процессов учитывались основные элементы ОЦА (общей циркуляции атмосферы): 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 июля по сентябрь 2020 г. были выявлены следующие особенности их развития:

1. Фоновые особенности развития крупномасштабных атмосферных процессов за третий квартал 2020 г. и их влияние на *полярный район Арктики* представлены в виде значений числа дней с основными формами и типами циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма — А.А. Гирса (табл. 1.1.1) и карт средних полей геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, значений приземного давления и температуры воздуха и их аномалий (рисунках 1.1.4 — 1.1.12).

Таблица 1.1.1

Значения числа дней с формами и типами циркуляции и их отклонения от нормы в период июль — сентябрь 2020 г.

Показатель	Индексы циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	W	C	E	З	М ₁	М ₂
Число дней	34	21	37	38	41	13
Аномалия	–1	–5	6	–1	1	0

В период с июля по сентябрь 2020 г. атмосферные процессы в Северной полярной области развивались с аномально повышенной повторяемостью в первом секторе процессов восточной (Е) формы циркуляции. Во втором секторе в целом за третий квартал повторяемость основных типов циркуляции близка к норме.

Анализ процессов показал, что в июле — сентябре 2020 г. выделяется ряд естественных стадий с однонаправленным развитием крупномасштабных атмосферных процессов.

Ход среднемесячных аномалий числа дней с основными формами и типами циркуляции атмосферы в период с июля по сентябрь 2020 г. представлен на рис. 1.1.1.

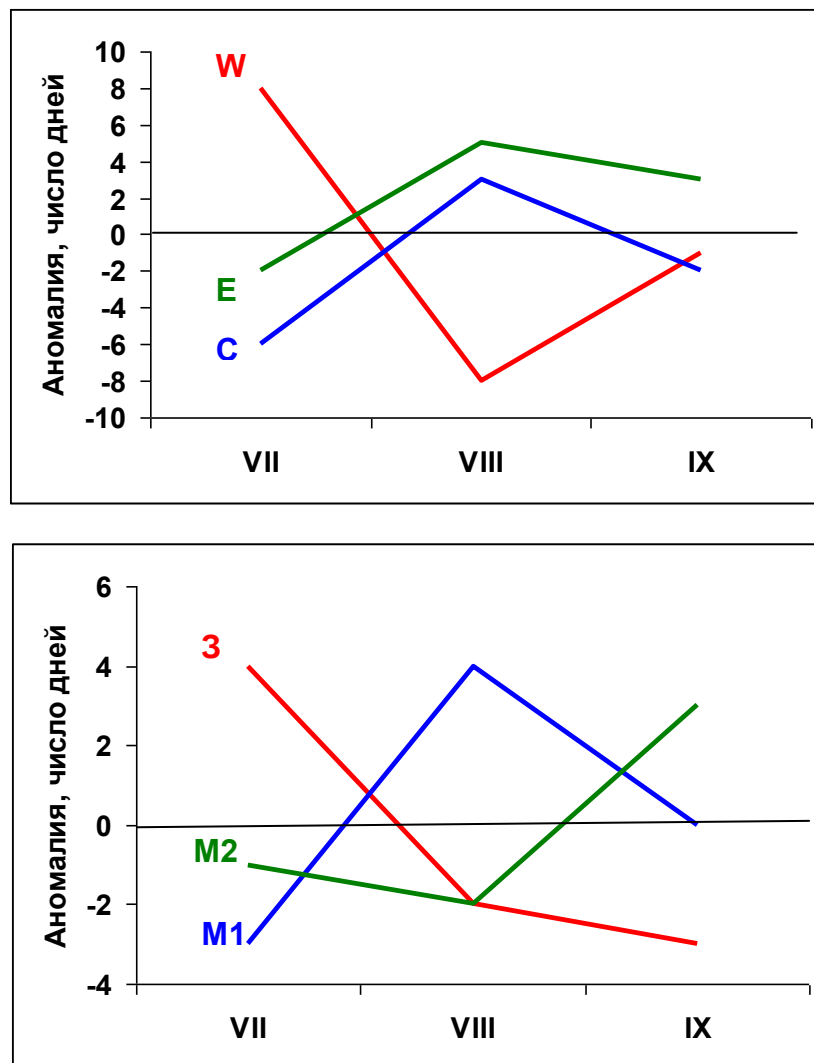


Рис. 1.1.1.1 Ход среднемесячных аномалий числа дней с основными формами и типами циркуляции атмосферы в период с июля по сентябрь 2020 г.

W – западная форма, E – восточная форма, C – меридиональная форма, 3 – зональный тип, M_1 – первый меридиональный тип, M_2 – второй меридиональный тип

Схема развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов в Северном полушарии с июля по сентябрь 2020 г. выглядит следующим образом:

Июль – $W_3 \rightarrow$ Август – $(E+C)_{M1} \rightarrow$ Сентябрь – $(E)_{M2}$

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

В третьем квартале от месяца к месяцу отмечалась устойчивая тенденция к понижению фона давления.

В среднем по полярному району в июле и августе под влиянием арктического антициклона преобладали положительные аномалии давления.

Наиболее активная циклоническая деятельность наблюдалась в сентябре. Фон давления понизился до отрицательных аномалий.

Тенденции изменения давления от месяца к месяцу в полярном районе представлены на рисунке 1.1.2.

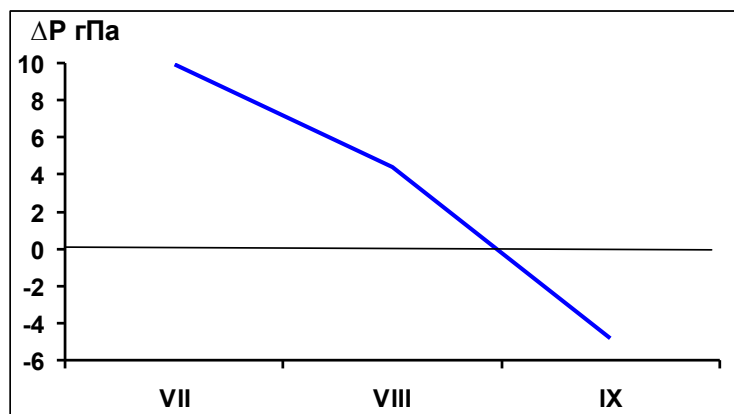


Рис. 1.1.2 Значения аномалий давления (гПа) в июле — сентябре 2020 в полярном районе Арктики

Фон температуры над полярным районом с июля по сентябрь был выше нормы, в среднем за квартал — на 2,9 °С и по сравнению с прошлым годом он повысился на 0,4 °С.

Изменения среднемесячных значений аномалий температуры по полярному району представлены на рисунке 1.1.3.

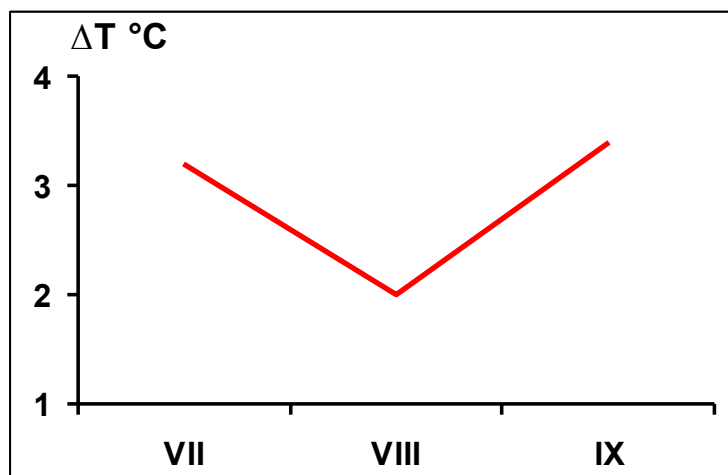


Рис.1.13 Средние месячные аномалии температуры воздуха (°С) в широтном поясе 70 — 85° с.ш. в июле — сентябре 2020 гг.

2. Структурные особенности развития атмосферных процессов в период с июля по сентябрь 2020 г и их влияние на формирование метеорологических условий в отдельных локальных районах Арктики представлены ниже.

В июле 2020 г. основной центр циркумполярного вихря на изобарической

поверхности 500 гПа сместился из приполюсного района Арктики района к восточному побережью Гренландии. Наиболее часто высотные гребни блокирующие западный перенос воздушных масс в толще тропосферы были ориентированы на полярный район Арктики, под которым в приземном поле сформировался устойчивый обширный антициклон. Поле среднего геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа в июле 2020 г. показано на рисунке 1.1.4.

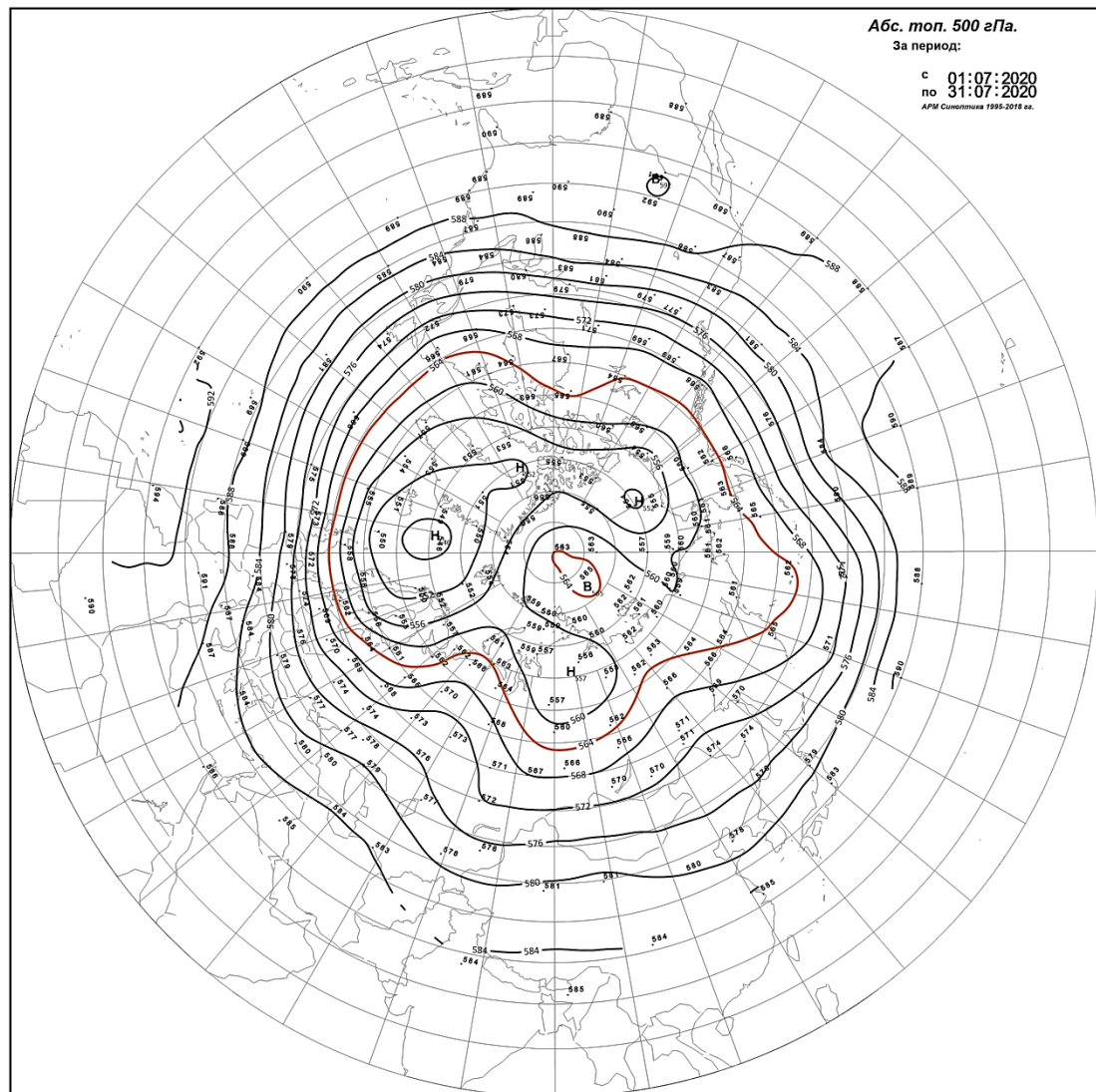


Рис. 1.1.4 Поле среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в июле 2020 г.

В первом (атлантико-евразийском) секторе отмечалась повышенная повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов западной формы циркуляции.

Циклоны в системе исландского минимума из Северной Атлантики смещались по сравнению с нормой по низкоширотным траекториям по континентальной части Евразии. В полярном районе сформировался фон давления выше нормы.

Фон температуры выше нормы. Наиболее высокие значения положительных аномалий температуры до 6°C отмечались в районе Карского моря (рис. 1.1.5).

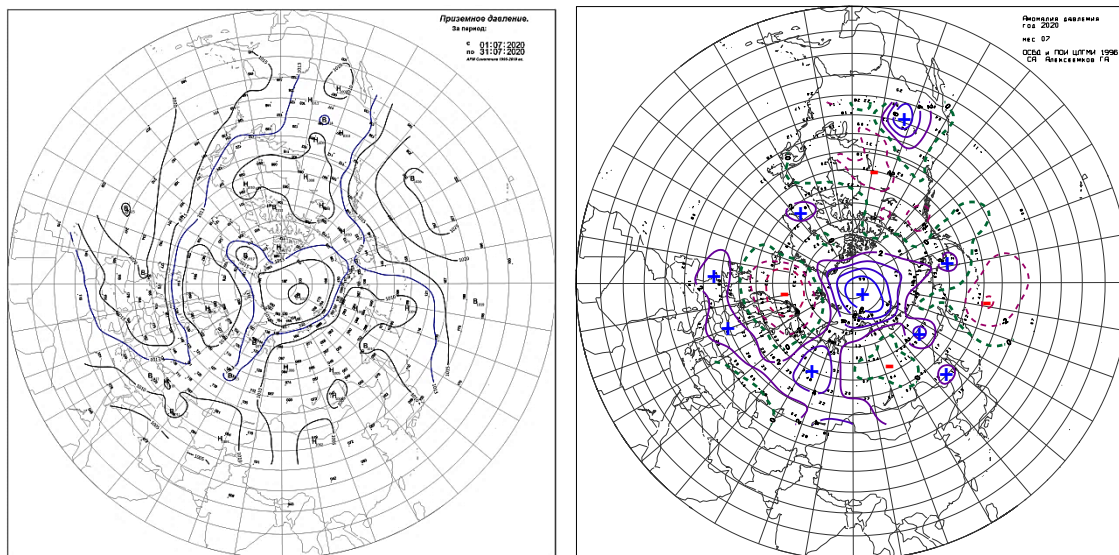


Рис. 1.1.5 Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в июле 2020 г.(гПа)

Во *втором (тихоокеано-американском) секторе* наибольшую повторяемость имели зональные процессы. Циклоны в системе алеутского минимума смещались по высокоширотным траекториям через Аляску в район Северной Америки. Под влиянием гребня арктического антициклона фон давления в данном секторе Арктики выше нормы.

Под частым влиянием воздушных потоков юго-восточных и восточных направлений температурный фон выше нормы на $2 - 4^{\circ}\text{C}$ (рис. 1.1.6).

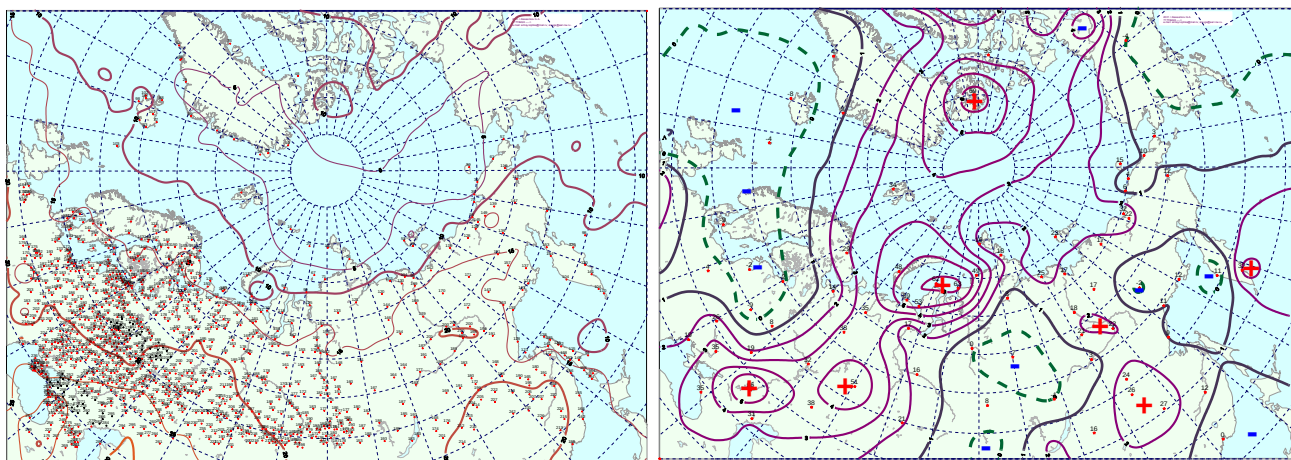


Рис. 1.1.6 Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в июле 2020 г., ($^{\circ}\text{C}$)

В августе 2020 г. основной центр ЦПВ сместился от восточного побережья Гренландии в канадский сектор Арктики. Наиболее часто высотный гребень блокирующий западный перенос воздушных масс в толще тропосферы был ориентирован через Таймыр на полярный район Арктики, где в приземном поле сформировался устойчивый обширный антициклон (рис. 1.1.7).

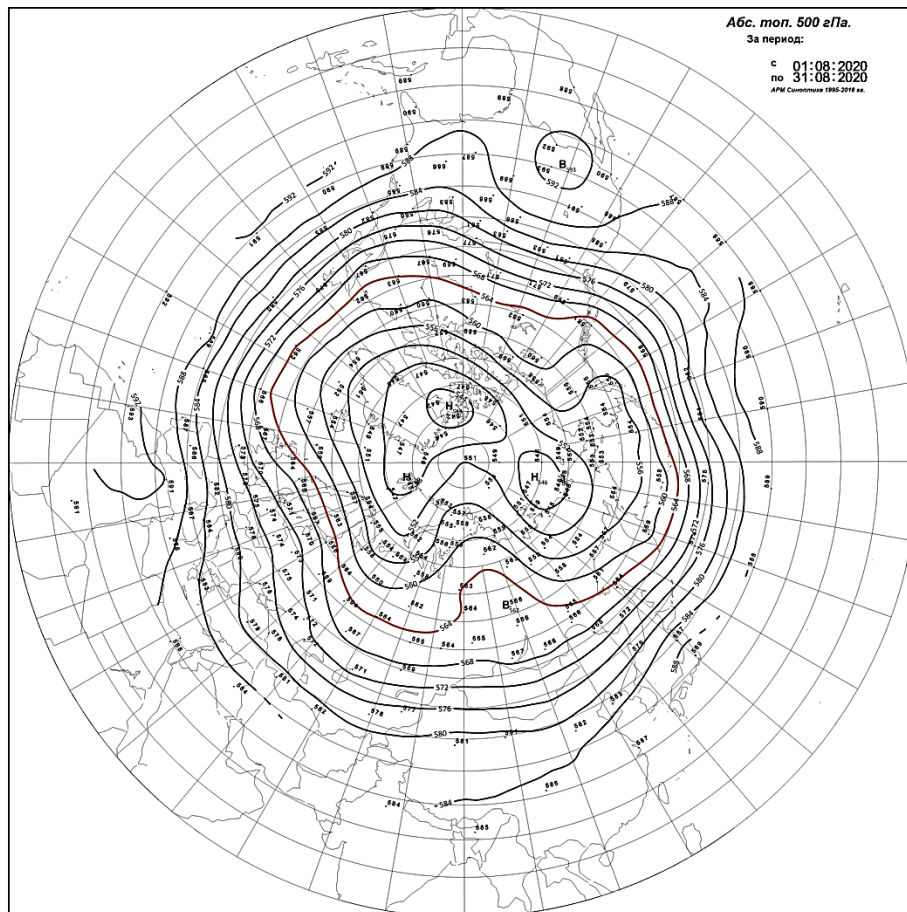


Рис. 1.1.7 Поля среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в августе 2020 г.

В первом секторе отмечалась перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов. Зональные процессы западной (W) формы циркуляции сменились на повышенную повторяемость восточной (E) и меридиональной (C) форм циркуляции.

Циклоны Северной Атлантики смещались через акваторию Баренцева и Карского морей на район Западной Сибири.

Фон давления в этом секторе Арктики преобладал ниже нормы. Положительные аномалии давления отмечались только в северо-восточной части Карского моря и море Лаптевых. Под влиянием устойчивой адвекции теплых воздушных масс фон температуры во всех районах данного сектора Арктики выше нормы. Наиболее высокие значения с

положительными аномалиями температуры 5 — 7 °С отмечались в Карском море (рис. 1.1.8).

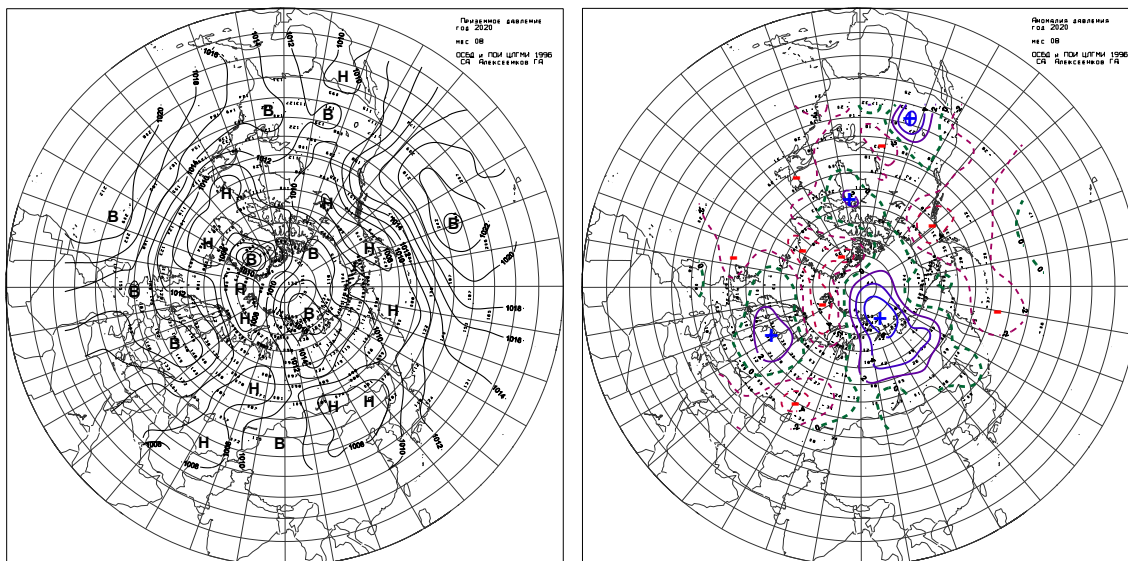


Рис. 1.1.8 Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в августе 2020 г. (гПа)

Во *втором секторе* преобладали крупномасштабных атмосферных процессов типу M_1 . Число дней с данным типом циркуляции атмосферы составило 17 дней.

Над Тихим океаном сформировался обширный антициклон. Циклоны в системе алеутского минимума смещались через Охотское и Берингово моря и не оказывали существенного влияния на полярный район. Фон давления в данном секторе Арктики близок к норме.

При воздушных потоках восточных направлений температурный фон выше нормы на 1 — 2 °С (рис. 1.1.9).

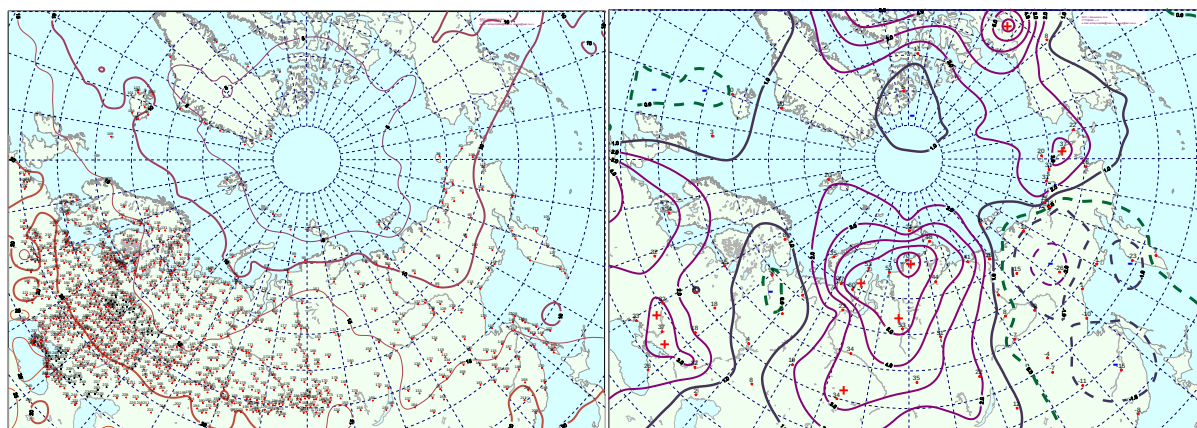


Рис. 1.1.9 Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в августе 2020 г., (°С)

В **сентябре 2020 г.** основной центр циркумполярного вихря находился в районе Гренландии. По сравнению с августом отмечалось смещение оси высотного гребня блокирующие западный перенос воздушных масс в толще тропосферы на восток с Таймыра в район восточного сектора Арктики. Над Северной Атлантикой и Европой произошло обострение высотной фронтальной зоны и усиление западного потока (рис.1.1.10).

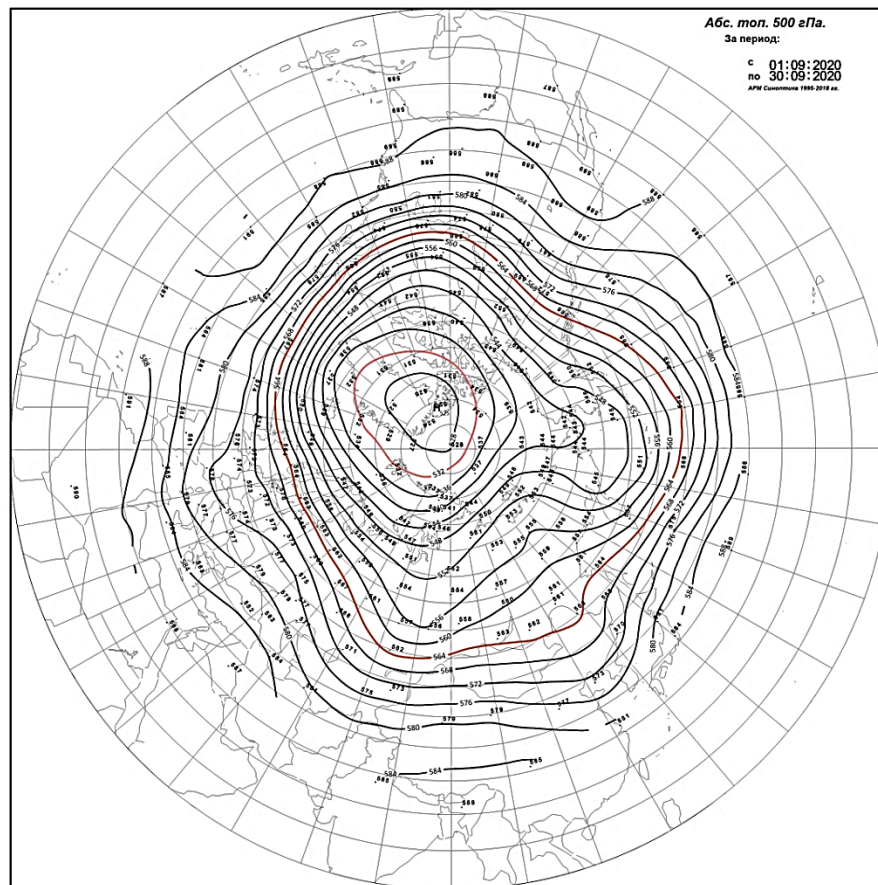


Рис. 1.1.10. Поля среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в сентябре 2020 г.

В *первом секторе* наибольшую повторяемость имели процессов западной (W) и восточной (E) форм циркуляции. Число дней с данными формами составило 12 дней. По сравнению с нормой циклоны Северной Атлантики смещались в полярный район по высокоширотным траекториям.

В западном секторе Арктики и его морях преобладали устойчивые отрицательные аномалии давления. При устойчивых потоках с юго-восточных направлений фон температуры выше нормы. Наиболее крупные значения положительных аномалий температуры, более 8 °С, отмечались в районе северо-восточной части Карского моря (рис.1.1.11).

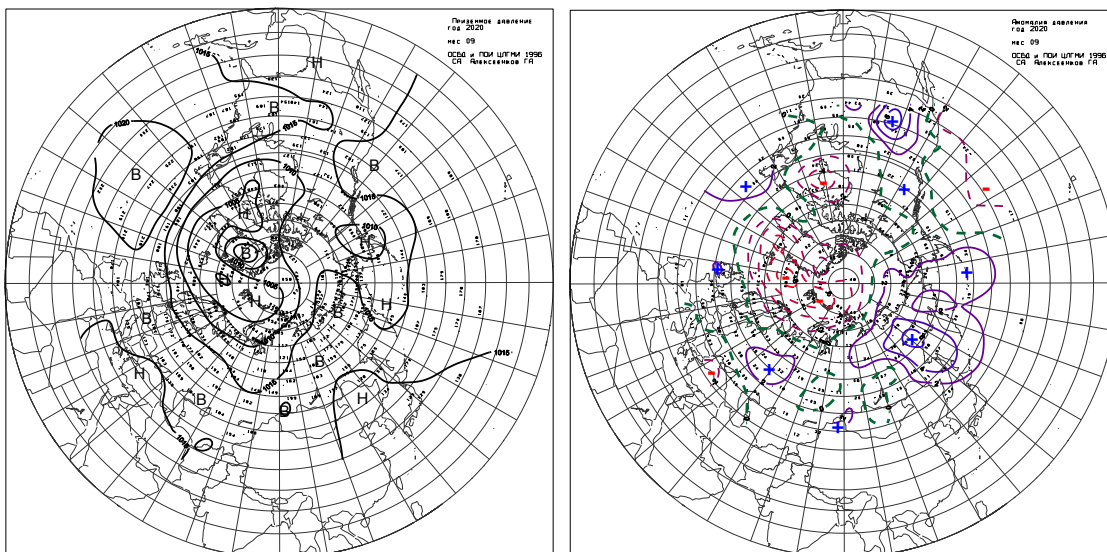


Рис. 1.1.11. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в сентябре 2020 г.(гПа)

Во *втором секторе* произошло ослабление меридиональных процессов типа M_1 и усиление зональных процессов. Циклоны в системе алеутского минимума смещались через район Берингова моря на Аляску. Над акваторией морей данного сектора Арктики преобладала адвекцию теплых воздушных масс с юга. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры до 3 — 5 °C отмечались в Чукотском и Восточно-Сибирском морях (рис. 1.1.12).

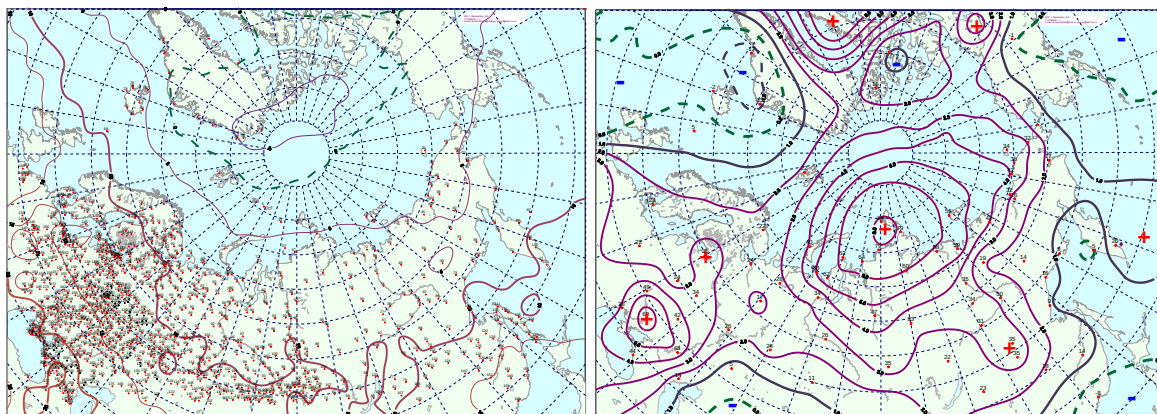


Рис. 1.1.12. Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в сентябре 2020 г., (°C)

Проведенный анализ развития и перестроек атмосферных процессов в третьем квартале 2020 г. показал, что характерный для текущей циркуляционной стадии развития атмосферных процессов высокий температурный фон с преобладанием положительных аномалий температуры сохранился. Как было показано, основным отличием с третьим

кварталом прошлого 2019 г., явилось повышение температурного фона в целом по полярному району Арктики на 0,4 °С.

Во всех *морях российской Арктики* фон температуры в третьем квартале 2020 г., оказался выше нормы. Наиболее высокий фон температуры отмечался в Карском море, а низкий — в Чукотском море. Во всех морях фон температуры по сравнению с третьим кварталом прошлого года повысился. Исключением явился район Чукотского моря, где фон незначительно понизился. На рисунке 13 приводятся средние за третий квартал 2020 г. значения аномалий температуры для акваторий морей российской Арктики.

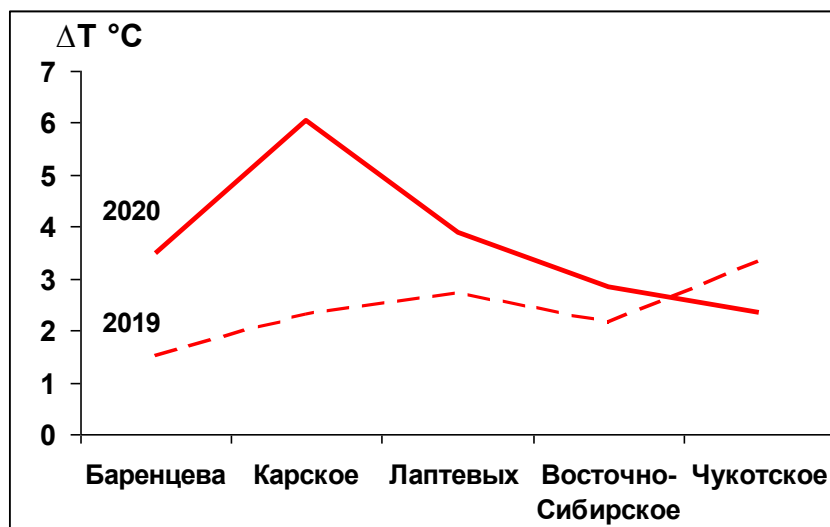


Рис. 1.1.13. Средние за третий квартал значения аномалий температуры воздуха (°С) по акваториям морей российской Арктики в 2020г.

3. Структурные внутри-месячные особенности циркуляции атмосферы в период с июля по сентябрь 2020 г.

Анализ развития и перестроек атмосферных процессов внутри месяцев проводился по естественным стадиям однонаправленного развития процессов с учетом установленных Г.Я. Вангенгеймом 26 разновидностей элементарных синоптических процессов (ЭСП) атлантико-евразийского сектора Северного полушария, процессы которого являются определяющими для перестройки циркуляции атмосферы в целом для полярного района Арктики.

Анализ показал, что внутри каждого месяца характерна большая повторяемость перестроек атмосферных процессов. Переходы от одного ЭСП к другому сопровождались сменой знака барического поля и направленностью преобладающих воздушных потоков в полярном районе Арктики, которые в свою очередь и были обусловлены перестройкой атмосферных процессов более крупного масштаба в двух секторах Северного полушария.



Основные разновидности основных форм циркуляции в атлантико-евразийском секторе полушария и типов циркуляции в тихоокеано-американском секторе полушария для каждого ЭСП с июля по сентябрь 2020 г. представлены в виде каталога в таблице 1.1.2.

Таблица 1.1.2

Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма — Гирса с внутримесячной детализацией атмосферных процессов по элементарным синоптическим процессам с июля по сентябрь 2020 г.

Июль 2020			Август 2020			Сентябрь 2020		
ЭСП	А — Е	Т — А	ЭСП	А — Е	Т — А	ЭСП	А — Е	Т — А
1 — 8	W	M ₁	1 — 2	C	M ₂	1 — 2	E	3
9 — 16	W	3	3 — 7	E	3	3 — 5	E	3
17 — 20	E	3	8 — 10	E	3	6 — 14	W	M ₁
21 — 23	C	M ₁	11 — 13	C	M ₁	15 — 20	C	M ₂
24 — 25	W	3	14 — 15	E	M ₁	21 — 23	W	M ₂
26 — 29	E	M ₁	16 — 19	W	3	24 — 30	E	3
30 — 31	C	M ₂	20 — 26	E	M ₁			
			27 — 31	C	M ₁			
Итого	W 18 (8)	3 14 (4)	Итого	W 4 (–8)	3 12 (–2)	Итого	W 12 (–1)	3 12 (–3)
	C 5 (–6)	M ₁ 15 (–3)		C 10 (3)	M ₁ 17 (4)		C 6 (–2)	M ₁ 9 (0)
	E 8 (–2)	M ₂ 2 (–1)		E 17 (5)	M ₂ 2 (–2)		E 12 (3)	M ₂ 9 (3)

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, C, E) и типами (3, M₁, M₂) атмосферной циркуляции

Обобщая данные мониторинга развития и перестроек крупномасштабных атмосферных процессов и характера их проявления в метеорологических условиях полярного района Арктики за период с июля по сентябрь 2020 г., можно сделать следующие основные выводы:

1. В июле и августе циклоны Северной Атлантики смещались по низкоширотным траекториям. В полярном районе под влиянием арктического антициклона преобладал фон давления выше нормы. В сентябре отмечалось высокоширотное смещение циклонов и преобладание отрицательных аномалий давления.

2. Во всех месяцах преобладала адвекция теплых воздушных масс и формирование положительных аномалий температуры над полярным районом Арктики. В среднем за квартал фон температуры выше, чем в прошлом году, на 0,4 °C



3. Во всех морях российской Арктики фон температуры в среднем за третий квартал выше нормы. Наиболее высокий фон температуры отмечался в Карском море, а наиболее низкий — в Чукотском.

1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области

В настоящем разделе приводятся оценки изменения температуры воздуха 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.

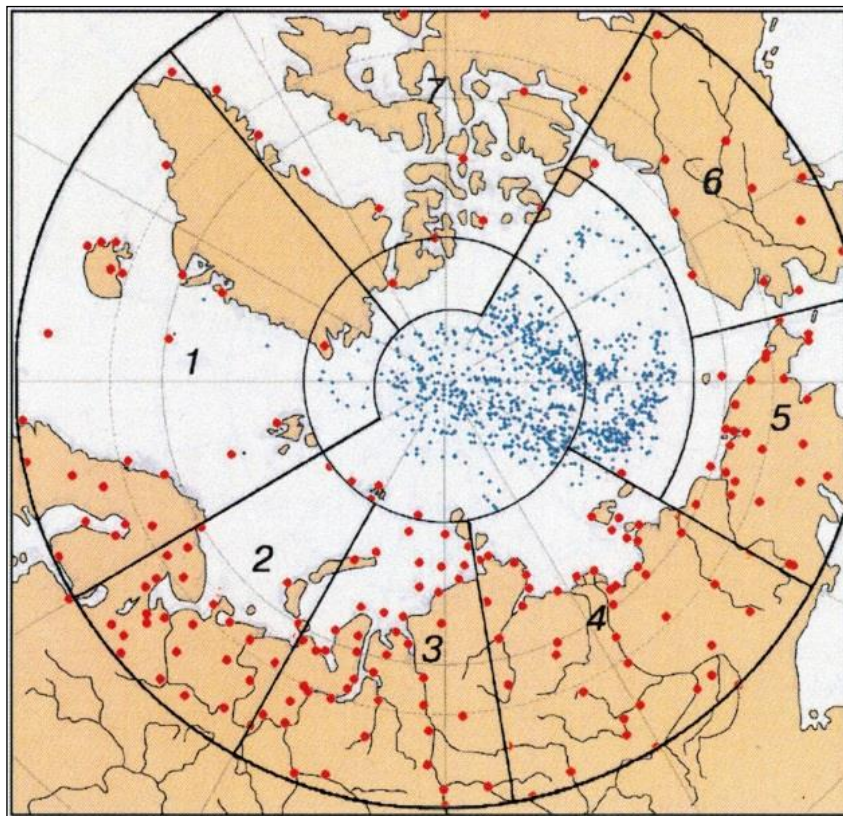


Рис. 1.2.1. Сеть метеорологических станций и границы районов в северной полярной области
(1 – Атлантический; 2 – Североевропейский; 3 – Западносибирский; 4 – Восточносибирский; 5 – Чукотский; 6 – Аляскинский; 7 – Канадский)

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 летнего сезона рассматривался период июнь — август.

Оценка аномалий средней температуры воздуха за летний сезон 2020 года по отдельным широтным зонам (60 — 85, 60 — 70 и 70 — 85° с.ш.) представлена в табл.1.2.1. В летнем сезоне 2020 г. аномалия температуры воздуха СПО составила 1,7 °С. Лето 2020 г. по рангу теплых лет оказалось вторым теплым летом за период с 1936 г. Аномалия температуры для широтной зоны

70 — 85° с.ш. составила 1,8 °С, а для широтной зоны 60 — 70° с.ш. — 1,7 °С. Прошедший летний сезон обеих широтных зон оказался соответственно третьим по рангу теплых лет за период 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 летний сезон 2020 г.

Широтная зона, °с.ш.	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
70 — 85	1,8	3	2012 (2,0)	1963 (–0,7)
60 — 70	1,7	3	2016 (2,0)	1949 (–0,8)
60 — 85	1,7	2	2016 (2,0)	1949 (–0,8)

Сопоставление значений аномалий летней температуры воздуха в 2020 г. в отдельных климатических районах показало наличие больших положительных аномалий температуры в азиатском секторе (рис.1.2.2, табл.1.2.2). Аномалия температуры в Западносибирском районе составила 2,8 °С, а в Восточносибирском районе составила 2,4 °С. По рангу теплых лет это второе наибольшее значение с 1936 г. для этих районов.

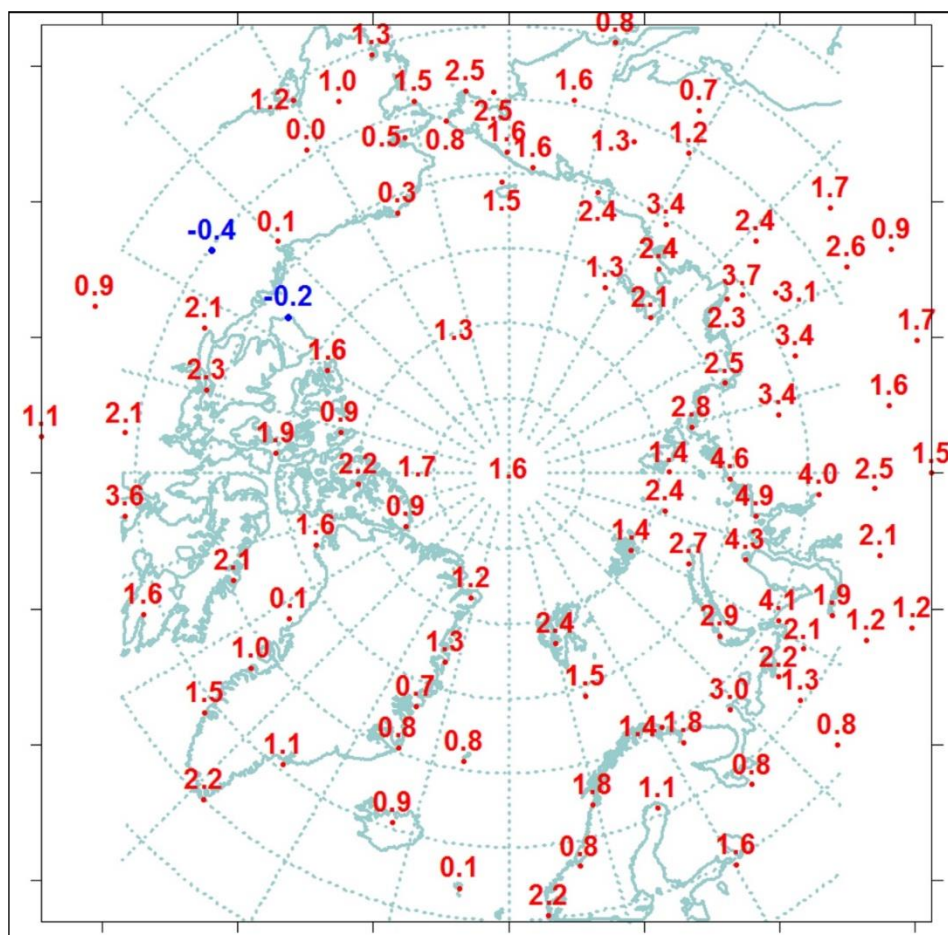


Рис. 1.2.2. Значения аномалий средней температуры воздуха летнего сезона 2020 г. на станциях Северной полярной области, °С

Таблица 1.2.2

Аномалии (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) средней температуры воздуха в летнем сезоне 2020 г. для отдельных районов СПО, °С

Климатический район	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
Атлантический	1,3	5	2003 (1,9)	1965 (–0,7)
Североевропейский	1,7	5	2013 (2,8)	1969 (–1,6)
Западносибирский	2,8	2	2016 (3,6)	1968 (–1,6)
Восточносибирский	2,4	2	2019 (2,9)	1989 (–1,2)
Чукотский	1,7	6	2007 (2,9)	1949 (–1,3)
Аляскинский	0,7	12	2004 (2,9)	1945, 1955 (–1,3)
Канадский	1,5	6	2012 (2,3)	1972 (–1,6)

В арктических морях наиболее высокие значения положительных аномалий обнаруживались в районе морей азиатского сектора: Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского. В районе Карского моря осредненная аномалия составила 3,5 °С (табл.1.2.3). По рангу теплых лет это наибольшее значение с 1936 г.

Таблица 1.2.3

Аномалии температуры воздуха в летнем сезоне 2020 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	1,2	10	2016 (2,4)	1965 (–0,7)
Баренцево море	2,0	3	2013 (2,8)	1949 (–1,2)
Карское море	3,5	1	2020 (3,5)	1968 (–1,2)
Море Лаптевых	2,4	3	2019 (3,2)	1962 (–1,5)
Восточно-Сибирское море	2,1	3	2007 (3,7)	1949 (–1,6)
Чукотское море	1,3	9	2007 (3,9)	1965 (–1,6)
Море Бофорта	0,5	14	2012 (2,5)	1947 (–1,5)
Северная часть Канадского района	1,4	8	2011, 2012 (2,7)	1972 (–1,6)

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

Оценка линейного тренда средней температуры воздуха СПО и отдельных широтных зон за летний сезон 1936 — 2020 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 летнего сезона в этих широтных зонах составило 1,19, 1,27 и 1,27 °С за 85 лет.

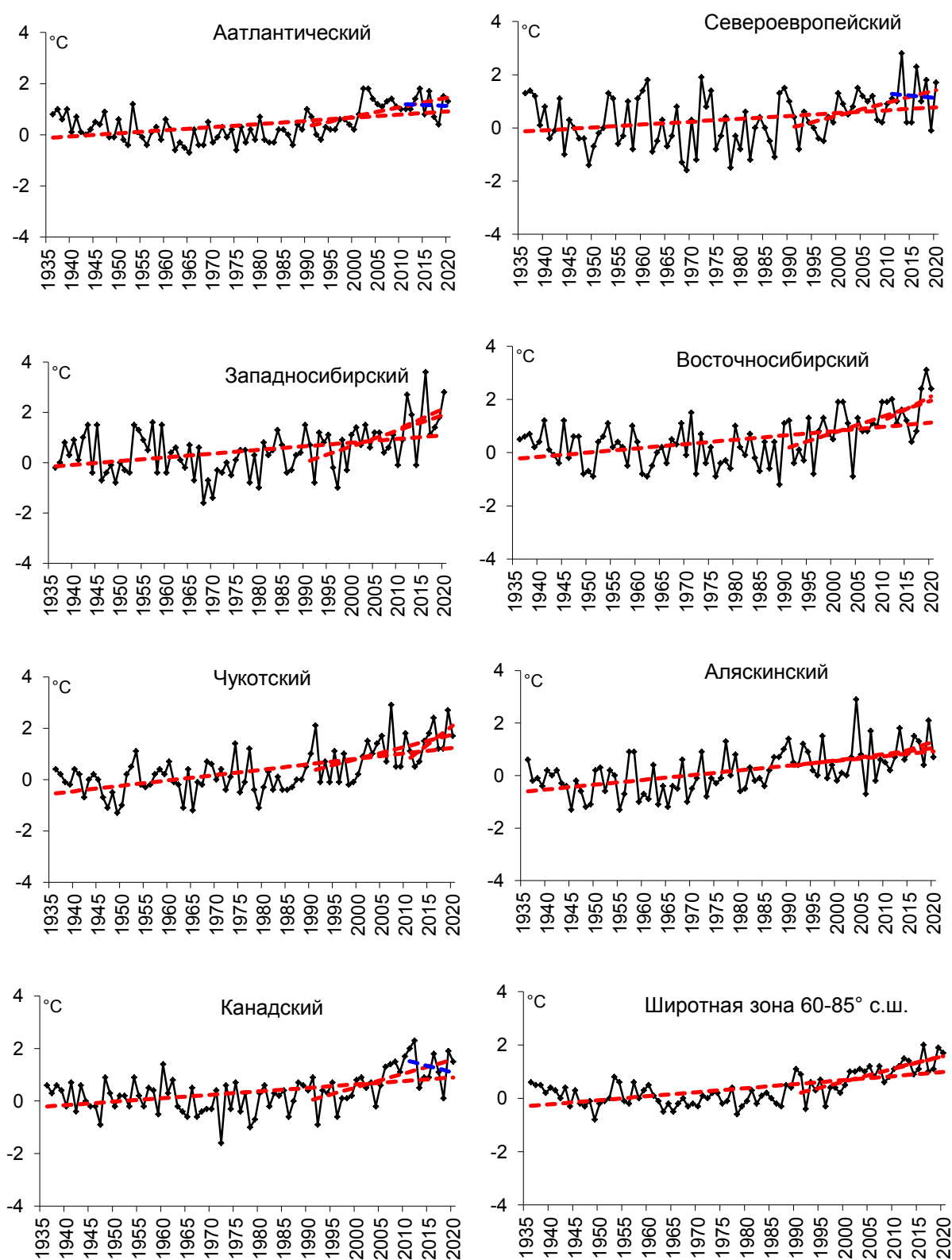


Рис. 1.2.3. Временные ряды аномалий средней за летний сезон температуры воздуха в климатически однородных районах Северной полярной области в целом по региону, °C

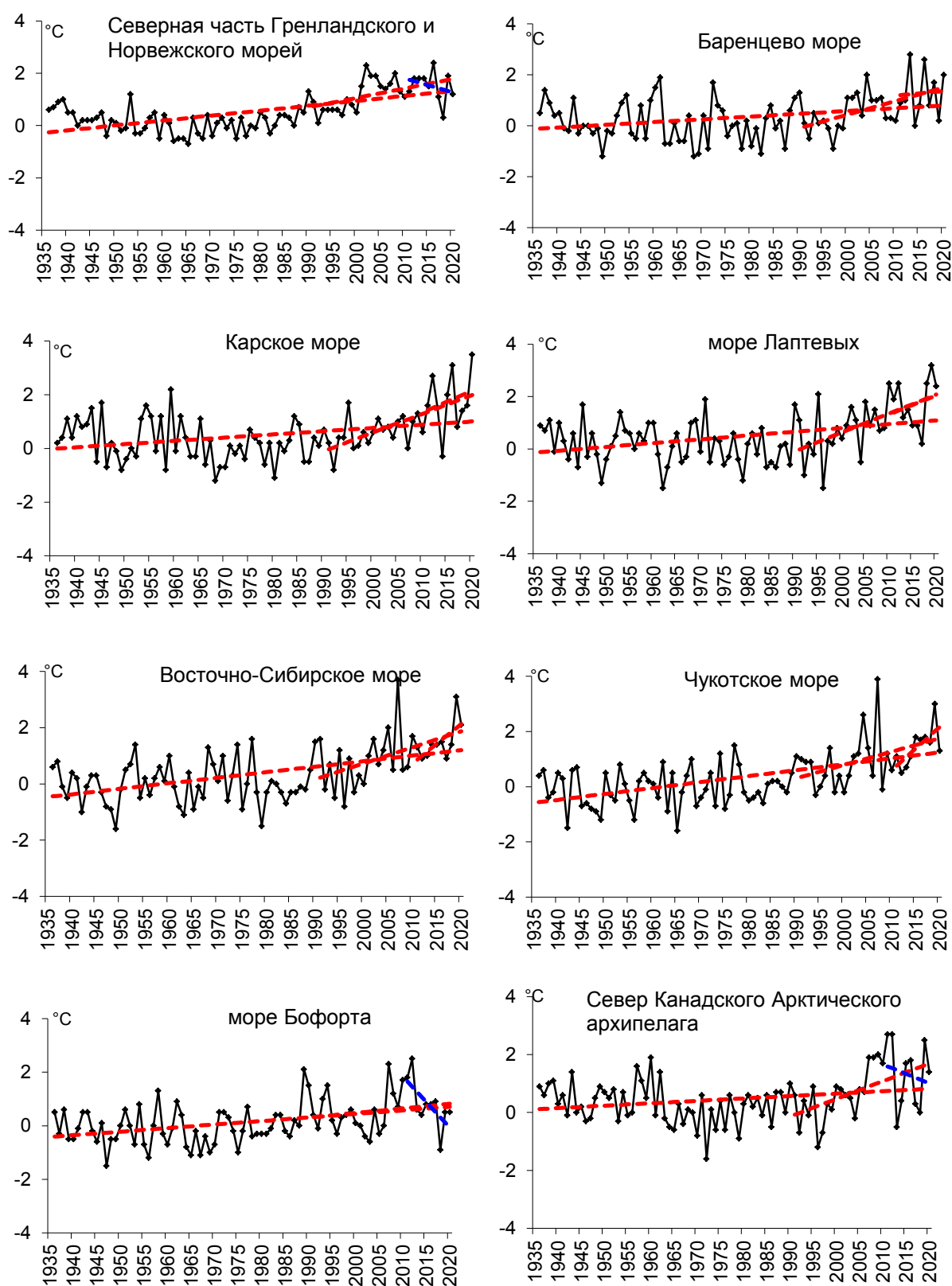


Рис. 1.2.4. Временные ряды аномалий средней за летний сезон температуры воздуха над акваториями морей и северной частью Канадского Арктического архипелага, °C

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	1936-2020		1991-2020		2011-2020	
	<i>B_x</i>	<i>D</i>	<i>B_x</i>	<i>D</i>	<i>B_x</i>	<i>D</i>
Атлантический	0,12	47,6	0,37	58,2	-0,07	04,8
Североевропейский	0,11	28,1	0,48	52,3	-0,17	05,4
Западносибирский	0,15	38,5	0,63	55,1	0,84	23,9
Восточносибирский	0,16	44,4	0,61	57,1	0,94	34,3
Чукотский	0,21	59,7	0,47	49,3	1,39	60,7
Аляскинский	0,18	78,4	0,23	26,5	0,61	29,3
Канадский	0,13	44,7	0,53	60,8	-0,47	20,1
70 — 85° с.ш.	0,14	55,3	0,51	74,3	0,18	10,1
60 — 70° с.ш.	0,15	61,8	0,43	70,9	0,69	53,0
60 — 85° с.ш.	0,15	62,3	0,47	75,7	0,42	33,3

Примечание: *B_x* – значение линейного тренда в °C/10 лет; *D* – вклад тренда в полную дисперсию, %; жирным шрифтом выделены статистически значимые на 5% уровне тренды

Для последнего тридцатилетнего периода 1991 — 2020 гг. в СПО и в отдельных широтных зонах в летней температуре характерны статистически значимые (на 5% уровне значимости) положительные тренды. Повышение температуры в целом по региону составляет 1,41 °C за 30 лет. В отдельных районах наиболее высокие значения тренда наблюдаются в изменениях температуры Западносибирского и Восточносибирского районов. Значение линейного тренда средней за летний сезон температуры воздуха здесь соответственно составляет 1,89 и 1,83 °C/30 лет.

В последнем десятилетнем периоде отмечается появление отрицательного тренда в изменениях температуры воздуха Атлантического, Североевропейского и Канадского районов. Однако значения тренда статистически незначимы. В целом по региону знак тренда в температуре летнего сезона положителен.

В районах арктических морей наиболее высокая скорость повышения температуры воздуха наблюдается с последнего 30-ти летнего периода. В районе Карского моря, моря Лаптевых а также в северной части Канадского района значения линейного тренда соответственно составили 2,07, 2,16 и 1,83 °C/30 лет (табл.1.2.5). В последнем десятилетнем периоде наблюдается появление разнонаправленных статистически значимых линейных трендов в районе Чукотского моря и моря Бофорта.

Таблица 1.2.5

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

Море, часть моря	1936-2020		1991-2020		2011-2020	
	<i>B_x</i>	<i>D</i>	<i>B_x</i>	<i>D</i>	<i>B_x</i>	<i>D</i>
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,19	62,2	0,36	51,4	-0,54	28,4
Баренцево море	0,11	31,1	0,53	54,0	0,18	05,8
Карское море	0,12	32,5	0,69	63,3	0,81	21,9
Море Лаптевых	0,14	36,8	0,72	58,6	0,73	23,5
Восточно-Сибирское море	0,20	50,6	0,57	52,0	1,41	64,2
Чукотское море	0,22	76,3	0,48	44,5	1,56	67,2
Море Бофорта	0,13	41,2	0,17	18,7	-1,92	65,2
Северная часть Канадского района	0,08	24,2	0,61	51,9	-0,65	16,8

Примечание: *B_x* – 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 проводится по тем же климатическим районам, что и для температуры воздуха. За теплый сезон принят период с июня по сентябрь (преимущественно выпадают жидкие осадки).

В целом для СПО осадков в теплом сезоне 2020 г. выпало меньше нормы (93,2%). К югу от 70° с.ш. осадков выпало 96,6%, а к северу — 91,7% от нормы (табл.1.2.6). Соответственно шестое, тринадцатое и восьмое значение в ряду убывающих значений. Наименьшее количество осадков выпало в Чукотском (78,0% от нормы) районе, девятое наименьшее значение. Более обильные осадки наблюдались в Североевропейском (111,2%) районе, восьмое наибольшее значение.

Таблица 1.2.6

Относительные аномалии (в % от нормы 1961-1990 гг.) сумм осадков теплого сезона 2020 г.

Клим. район, широтная зона	Относительная аномалия	Наибольшее значение	Наименьшее значение
Атлантический	95,9	1964 (120,5)	1968 (75,2)
Североевропейский	111,2	1981 (128,4)	1980 (68,5)
Западносибирский	98,1	2002 (122,6)	1946 (72,4)
Восточносибирский	86,8	1988 (125,2)	1967 (78,4)
Чукотский	78,0	1954 (139,6)	1982 (60,2)
Аляскинский	85,0	1951 (164,4)	1968 (54,1)
Канадский	86,2	2005 (123,5)	1977 (75,0)
60 — 70°с.ш.	96,6	1954 (115%)	1968 (88%)
70 — 85°с.ш.	91,7	1989 (127%)	1998 (84%)
60 — 85°с.ш.	93,2	1954 (117%)	1980 (90%)



В табл. 1.2.7 приведены оценки изменения сумм осадков теплого сезона за весь период (с 1936 по 2020 гг.) по северным (70 — 85° с.ш.) и южным (60 — 70° с.ш.) частям климатических районов и для районов в целом. На рис. 1.2.5 временные ряды сумм осадков теплого сезона для районов арктических морей и территорий севернее 70° с.ш.

Таблица 1.2.7

**Коэффициенты линейного тренда сумм осадков теплого 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 — 2020			1991 — 2020		
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	−0,96	−2,2	8,0	0,15	0,1	0,4
Скандинавия и север ЕТР	2,76	9,5	23,3	7,61	9,3	19,1
Западная Сибирь	−0,85	−2,9	7,1	4,16	5,0	10,8
Восточная Сибирь	−0,65	−3,2	9,2	−6,66	−11,5	31,7
Чукотка	−0,36	−1,9	3,6	2,90	5,3	10,2
Аляскинский (южная часть)	−0,64	−2,8	4,2	12,54	19,3	32,4
Канадский (южная часть)	1,97	11,3	29,0	−0,92	−1,9	4,2
60 — 70° с.ш.	0,21	0,8	4,6	2,87	3,9	20,0
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,30	9,0	12,6	8,68	21,2	30,8
Баренцево море	−0,43	−2,4	4,2	2,14	4,2	10,4
Карское море	−0,64	−4,4	7,2	7,90	19,1	27,1
Море Лаптевых	−3,49	−23,4	36,3	−5,55	−13,1	27,0
Восточно-Сибирское море	−5,95	−43,3	51,1	−12,05	−30,9	49,0
Чукотское море	−5,01	−32,8	36,1	−10,05	−23,2	31,5
Море Бофорта	1,11	10,6	14,4	0,11	0,4	0,6
Канадский (северная часть)	0,48	6,2	8,7	−4,39	−19,9	25,3
70 — 85° с.ш.	−0,82	−6,2	19,8	1,65	4,4	20,6
Атлантический	−0,37	−1,1	4,3	2,98	3,1	12,9
Североевропейский	1,26	5,1	14,6	5,54	7,9	19,8
Западносибирский	−0,94	−4,1	12,0	5,75	8,8	21,8
Восточносибирский	−1,50	−8,2	23,6	−6,22	−11,9	34,1
Чукотский	−2,17	−12,3	25,2	−1,93	−3,9	8,3
Аляскинский	−1,81	−8,8	14,1	−0,12	−0,2	0,4
Канадский	1,33	9,6	28,0	−2,22	−5,7	14,3
60 — 85° с.ш.	−0,58	−2,7	16,5	0,62	1,0	6,3

Пр и м е ч а н и е: Первый столбец — значение линейного тренда в мм/10 лет;
Второй столбец — изменение сумм осадков в % от среднесезонного значения за 1961 — 90 гг.;
Третий столбец — вклад тренда в полную дисперсию *D*%;
Жирным шрифтом выделены статистически значимые на 5% уровне тренды

В межгодовых изменениях осадков теплого сезона за период 1936 — 2020 гг. сохраняется тенденция к уменьшению жидких осадков в целом по региону (на 2,7 % от нормы 1961 — 1990 гг.) и к северу от 70° с.ш. (на 6,2 % от нормы). Статистически

значимый (на 5-% уровне значимости) тренд осадков теплого сезона обнаруживается только в Канадском районе (11,3 мм за 85 лет) (табл. 1.2.5).

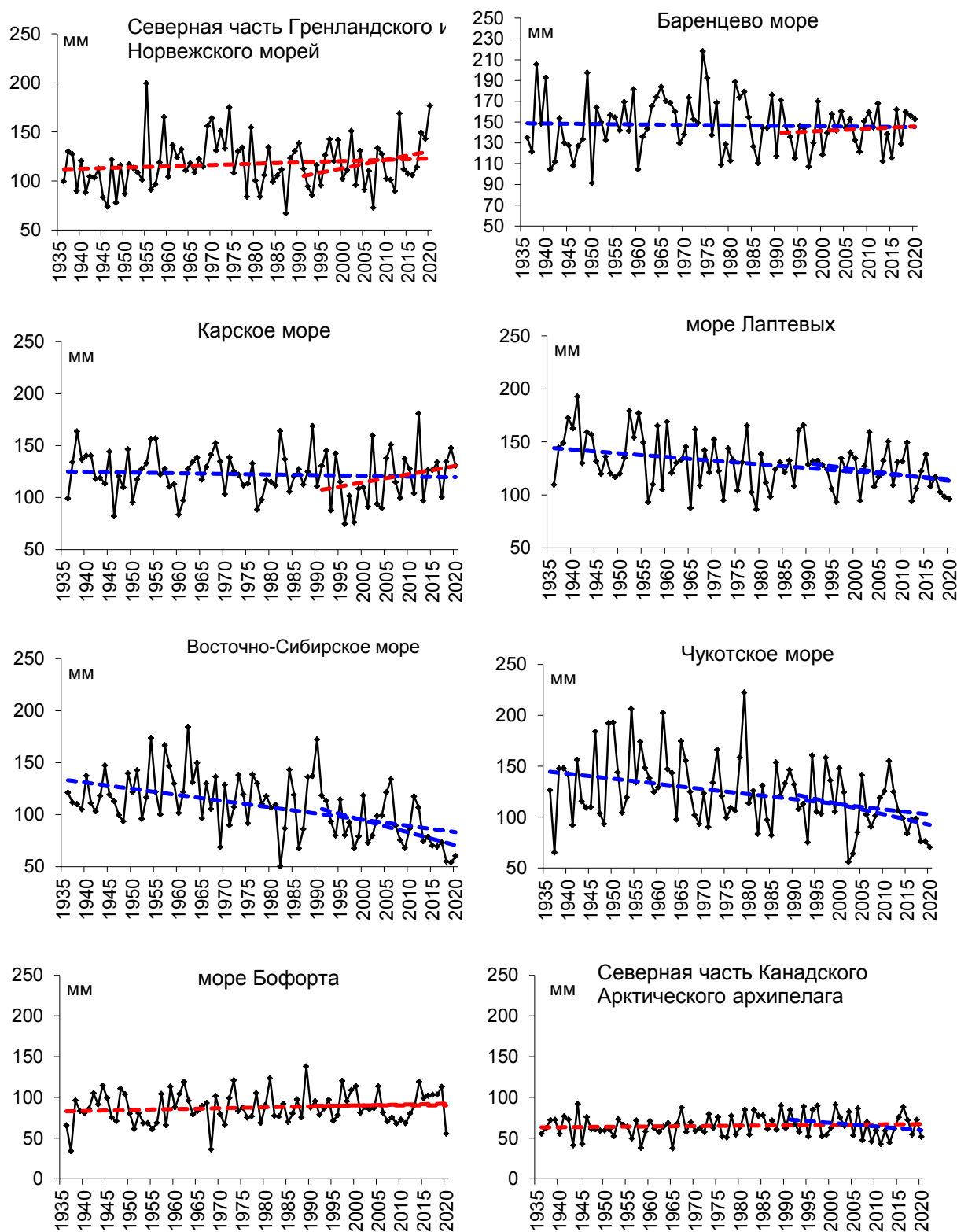


Рис. 1.2.5 Временные ряды сумм осадков теплого сезона над акваториями морей и северной частью Канадского Арктического архипелага, мм



В арктических морях за весь период наблюдений, за исключением северной части Гренландского и Норвежского морей, северной части Канадского района, а также моря Бофорта, преобладает тенденция к уменьшению количества осадков. Более всего уменьшилось количество выпавших осадков в морях евразийского сектора. Уменьшение сумм осадков составило здесь от 2 (Баренцево море) до 43 (Восточно-Сибирское море) % от нормы.

В последнем 30-летнем периоде в отдельных широтных зонах появилась тенденция к росту количества жидких осадков. Главным образом за счет увеличения жидких осадков в Североевропейском и Западносибирском районах. Однако значения линейных трендов в этих районах статистически не значимы.

2 Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях в июле — сентябре 2020 года

Оценки особенностей развития ледовых условий в июле — сентябре 2020 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, наблюдений на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база мыс Баранова», данным экспедиционных исследований, проводимых в ФГБУ «АНИИ», и ряде международных проектов.

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

Для иллюстрации ледовых условий в годовом цикле представлены совмещенные региональные карты АНИИ, Канадской ледовой службы — КЛС и Национального ледового центра США — НЛЦ. Совмещение карт выполнено путем перекрытия слоев (АНИИ, верхний слой) — (КЛС, средний слой) — (НЛЦ, нижний слой). Как результат, карты АНИИ характеризуют ледовые условия морей Гренландского, Чукотского, Берингова, Охотского и Балтийского, КЛС — моря Бофорта, Канадского архипелага, моря Баффина, Девисова пролива, море Лабрадор, залив 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 АНИИ и КЛС-НЛЦ в 1 сутки (день недели выпуска карт АНИИ — 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 АНИИ и КЛС, НЛЦ наблюдается определенная несогласованность границ и характеристик ледовых зон вследствие ряда различий в ледовых информационных системах АНИИ 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 СИГРИД-3 доступна на сервере МЦД МЛ по адресам <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> (карты АНИИ), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0031> (карты КЛС), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0032> (карты НЛЦ).

Для получения оценок по 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 оперативные 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 2020 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 показаны границы и положение квазиоднородных районов, по которым проводится описание развития ледовых условий СЛО.

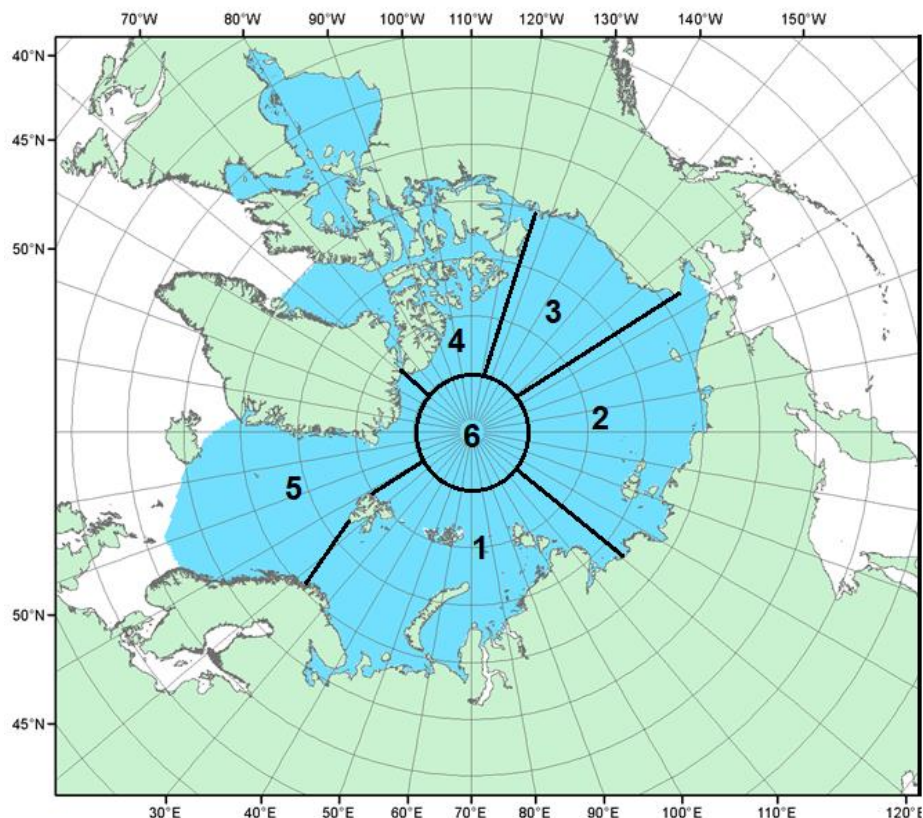


Рис. 2.1 Квазиоднородные районы, выделенные в Северном Ледовитом океане

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

В июне началось чрезвычайно быстрое очищение окраинных морей западного района российского сектора Арктики — Баренцева, Карского, Лаптевых. Большое разряжение развилось и в юго-западной части Чукотского моря. В этих морях сформировались крупные положительные аномалии ледовитости. В середине июня положительные аномалии ледовитости составили: в Баренцевом — 22%, в юго-западной части Карского — 41%, в западной части Лаптевых — 33, в Чукотском — 12%. 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.

В возрастном составе льдов в конце июня преобладали однолетние толстые льды. Старые льды занимали не более 30 — 35% акватории океана. Однолетние льды, среди которых преобладали однолетние толстые, составляли около 60 — 65%. Сформировавшиеся в морях разряжения и полыньи вдоль берегов составляли оставшуюся площадь.

Основными очагами очищения служили акватория северной части Баренцева моря,

вся юго-западная часть Карского моря, западная часть и заприпайный район в море Лаптевых, а также обширное разряжение вдоль побережья в южной части Чукотского моря (рис. 2.2., 2.3).

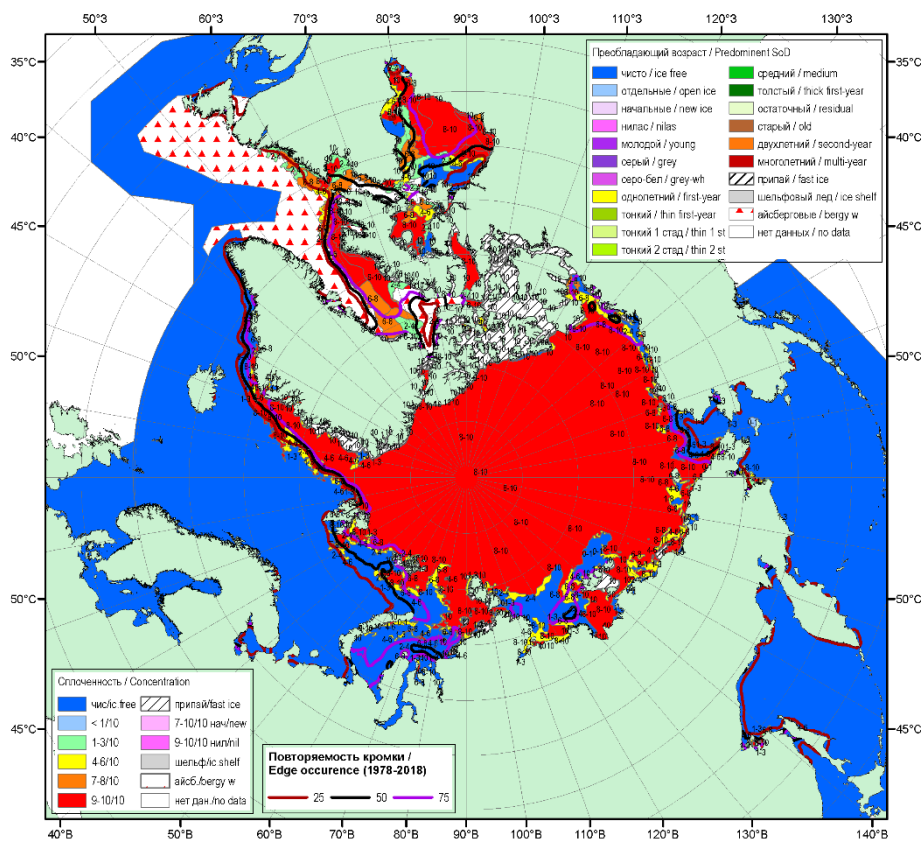


Рис. 2.2 Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 25-30.06.2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

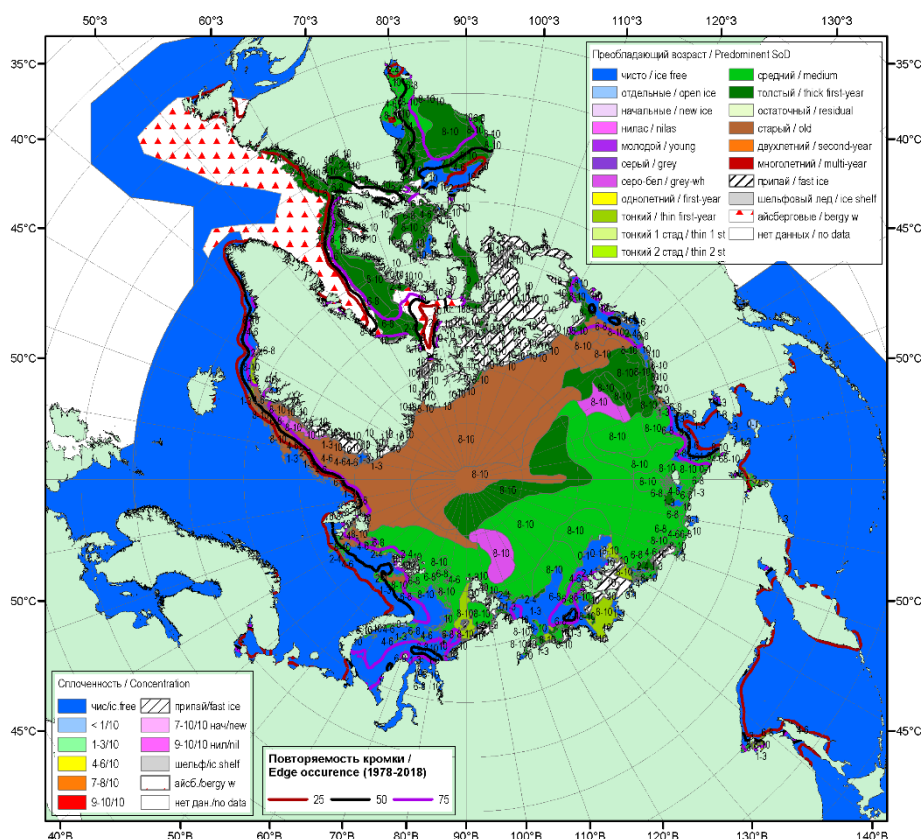


Рис 2.3 Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 25-30.06.2020 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США

Общее количество льдов в СЛО в июне, по оценкам, выполненным в ААНИИ, составила 9,9 млн. км², что оказалось на 7,0% меньше среднемноголетнего значения по ряду с 1978 — 2019 гг. Отрицательная аномалия сформировалась за счет малой ледовитости, которая наблюдалась в секторе 45°W — 95°E (Гренландское — Карское моря), а также малой ледовитости, сформировавшейся в отдельных арктических морях — Лаптевых, Чукотском.

На таком крайне благоприятном фоне, который сформировался в начале летнего периода и особенно хорошо проявился в окраинных морях российского сектора Арктики, продолжили развиваться летние гидрометеорологические и ледовые условия в СЛО и его морях.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным грациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период июль-сентябрь 2020 г. приведены на рисунках 2.4 — 2.12.

В июле продолжалось интенсивное очищение морей западного района российского сектора Арктики (Баренцева, Карского, Лаптевых) и Чукотского моря. К концу июля на большей части акватории этих морей наблюдались обширные пространства редких льдов

и чистой воды. Аномалии ледовитости в этих морях составляли $-40\ldots-60\%$. Медленнее всего процессы таяния развивались в морях Восточно-Сибирском и Бофорта.

Припай в российских арктических морях полностью разрушился в первой декаде июля, что произошло в среднем на 10 — 15 суток раньше среднемноголетних сроков. Припай среди островов Канадского арктического архипелага в течение июля частично взломался, но сохранялся до конца июля (рис. 2.4).

Сохранялся интенсивный вынос льдов из СЛО через пролив Фрама и далее вдоль побережья Гренландии, о чем свидетельствует большая ширина ледового потока, приближающаяся к среднемноголетней ширине потока (рис. 2.4).

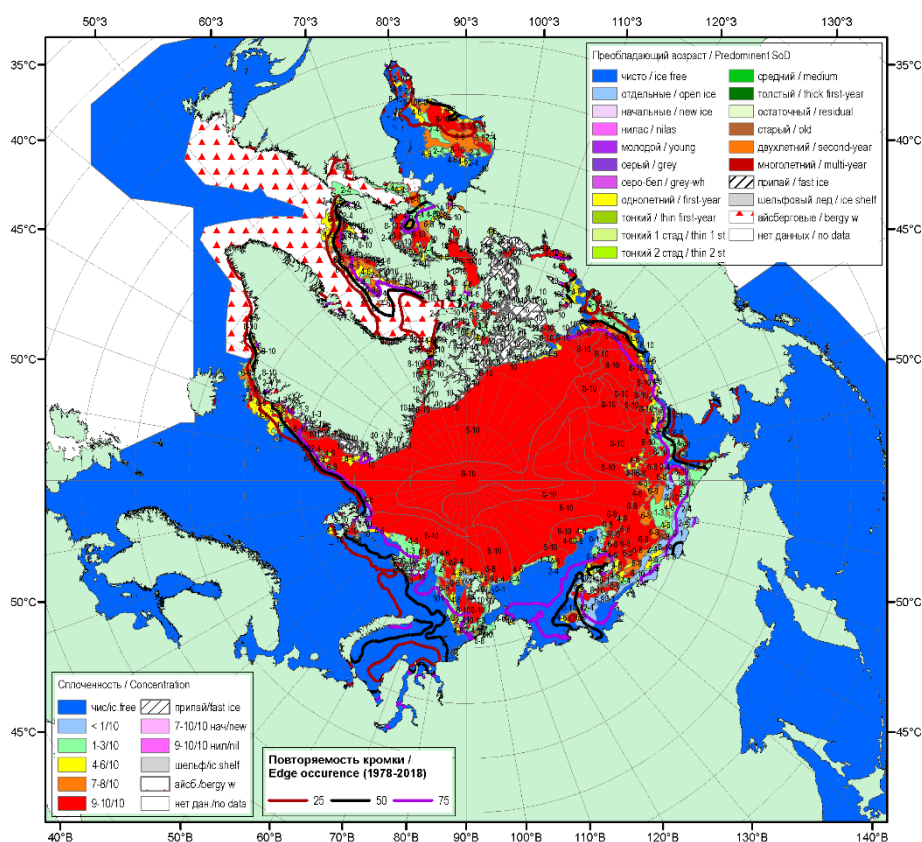


Рис 2.4 Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 16–21.07.2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

В возрастном составе льдов наблюдалось дальнейшее сокращение количества однолетних толстых льдов в окраинных морях. Одновременно наблюдался интенсивный вынос старых льдов в пролив Фрама. Старые льды сохранялись в гренландском и канадском секторах Арктики и частично в аляскинском секторе и в приполюсном районе. Большое количество однолетних льдов сохранялось в морях Восточно-Сибирском и Бофорта. Значительное отступление границы дрейфующих льдов наблюдалось в морях Баренцевом, Карском и Лаптевых. Необходимо отметить, что для моря Лаптевых

отступление границы дрейфующих льдов на север и сокращение ледовитости оказалось экстремальным для середины июля (рис. 2.5).

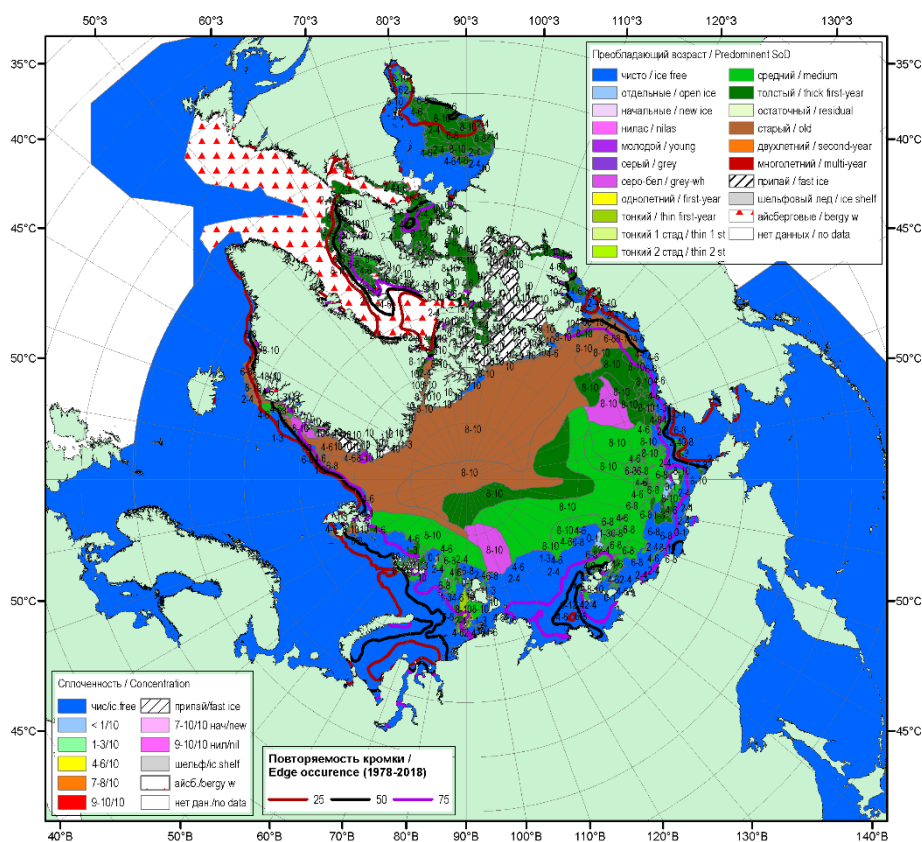


Рис. 2.5 Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 16 — 21.07.2020 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США

Среднемесячное поле дрейфа ледяного покрова приведено на рис. 2.6. В поле дрейфа льда наблюдалось формирование необычной картины. Вместо выраженных основных структур дрейфа — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота, в поле дрейфа сформировался хорошо выраженный антициклонический круговорот с центром практически у полюса. Гигантский антициклонический вихрь, который можно принять за смещенный к полюсу Канадский антициклонического круговорот, был развит очень слабо. Скорости дрейфа в приполюсном районе были крайне незначительны и увеличивались к периферии круговорота до 5 км/сутки (рис. 2.6).

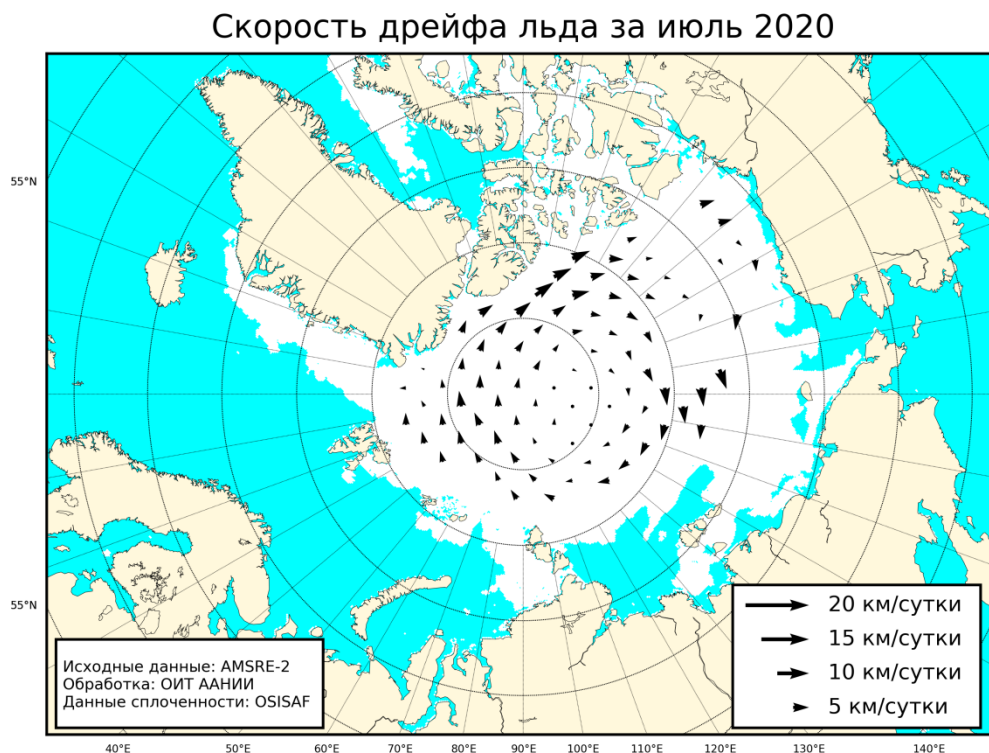


Рис. 2.6 Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июле 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне

В течение августа продолжалось интенсивное сокращение ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и его морях. Уменьшение ледовитости происходило в основном за счет разрушения льда во всех окраинных арктических морях российского сектора Арктики. Ледяной покров начал активно разрушаться в Восточно-Сибирском море. Большая часть всех окраинных арктических морей российского сектора Арктики, за исключением морей Восточно-Сибирского и Бофорта практически полностью очистилась ото льда. Во всех морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости, которые на конец августа составили от -30 до -55% . Положение границы дрейфующих льдов в морях Баренцевом, Карском и Лаптевых в августе 2020 г. было экстремально высоким. Весь массив дрейфующих льдов оказался смещенным за северную границу российских арктических морей и прижатым к побережью Гренландии и островам Канадского арктического архипелага. Припай в районе островов Канадского арктического архипелага полностью разрушился (рис. 2.7).

Возрастной состав льдов в СЛО и его морях сохранялся. Старые льды наблюдались в гренландском, канадском, а также северной части аляскинского секторов и в части приполюсного района. Оставшиеся льды представляли собой однолетние толстые льды различной разрушенности (рис. 2.8).

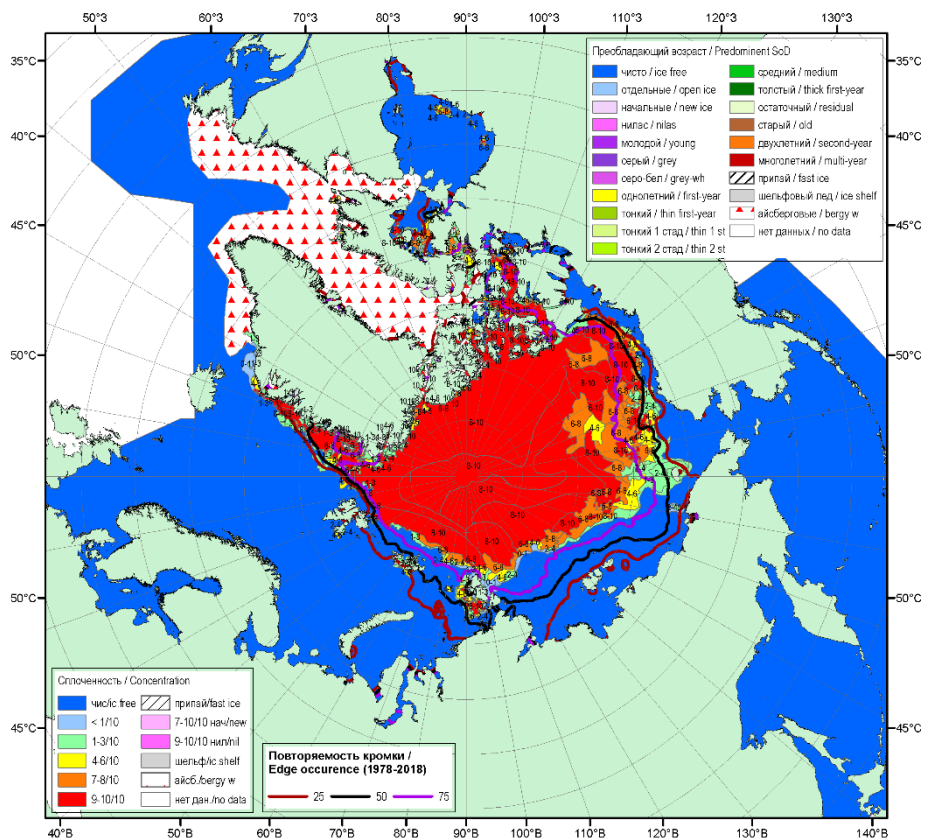


Рис. 2.7 Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 13–18.08.2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

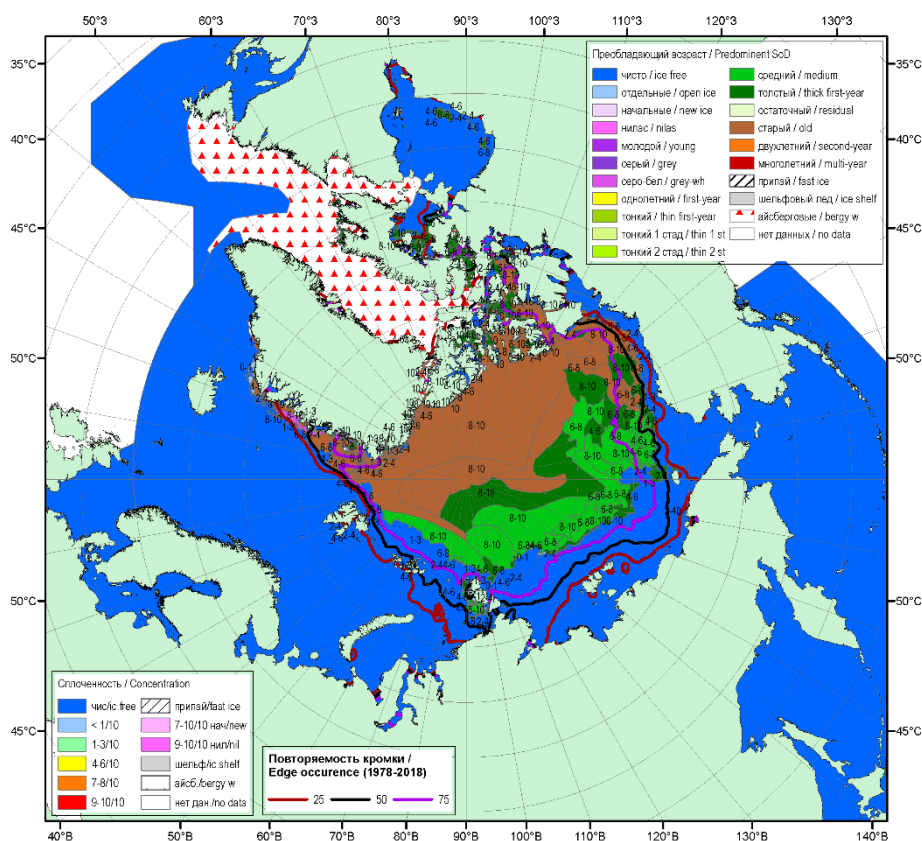


Рис. 2.8 Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 13–18.08.2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

В августе, в поле дрейфа льда существенных изменений не наблюдалось. Традиционных структур дрейфа в СЛО не наблюдалось. Вместо них сохранялся слабо развитый и сильно смещенный в приполюсный район антициклонический вихрь с очень маленькими скоростями дрейфа, который условно можно принять за канадский антициклонический круговорот. Скорость дрейфа льдов была очень невелика и не превышала 5 км/сутки (рис. 2.9).

Общая ледовитость СЛО во второй половине августа составила 4,95 млн. км², что оказалось на 24% меньше среднемноголетнего значения по длинному ряду наблюдений (с 1978 — 2018 гг.), и на 5% среднего значения ледовитости за последнее 10-летие (с 2010 по 2019 гг.). Несмотря на общее уменьшение площади льдов в СЛО в секторе 45°W — 95°E (Гренландское — Карское моря) ледовитость оказалась близка к норме, за счет общего смещения всего массива льдов к побережью Гренландии и островам Канадского арктического архипелага (рис. 2.14 а, г).

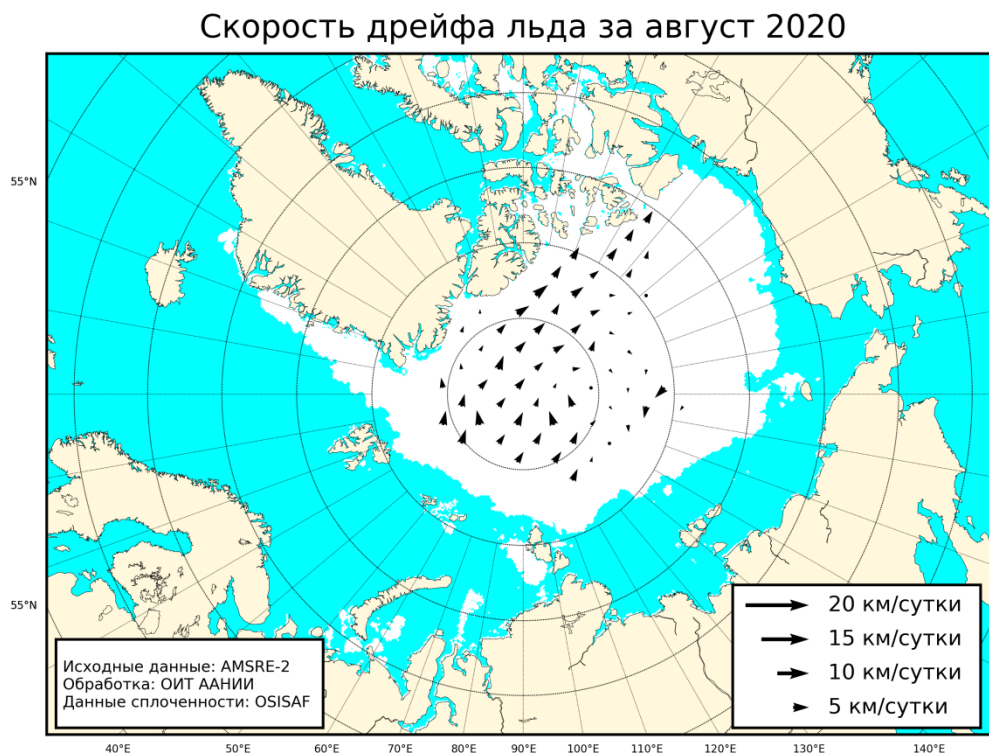


Рис. 2.9 Поле скорости фактического дрейфа морского льда в августе 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне

В середине сентября сокращение площади ледяного покрова в СЛО достигла своего максимума и прекратилось. Среди остаточных льдов к северу от широты 80 — 82° с.ш. начало наблюдаться ледообразование.

В середине сентября в прикромочной зоне на чистой воде по широкому фронту от моря Баренцева до Бофорта началось ледообразование, что в среднем на 15 — 20 суток позже среднееголетних сроков. Ледообразование развивалось крайне медленно в российском секторе Арктики и интенсивно в аляскинском и канадском секторах Арктики. До конца сентября ширина полосы начальных и молодых льдов не превышала 50 — 100 км. Начальные и молодые льды наблюдались непосредственно в прикромочной зоне остаточных льдов в районе широты 80 °с.ш. Таким образом, характерной чертой осеннего ледообразования 2020 г является его позднее начало и медленное развитие в морях российского сектора Арктики (рис. 2.10).

Основная масса остаточных льдов, сохранившихся после периода летнего таяния в Северном Ледовитом океане наблюдалась в приполюсном районе, грenландском и канадском секторах СЛО. В сентябре 2020 г. был в обновлен минимум положения

границы остаточных льдов в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском (рис. 2.11).

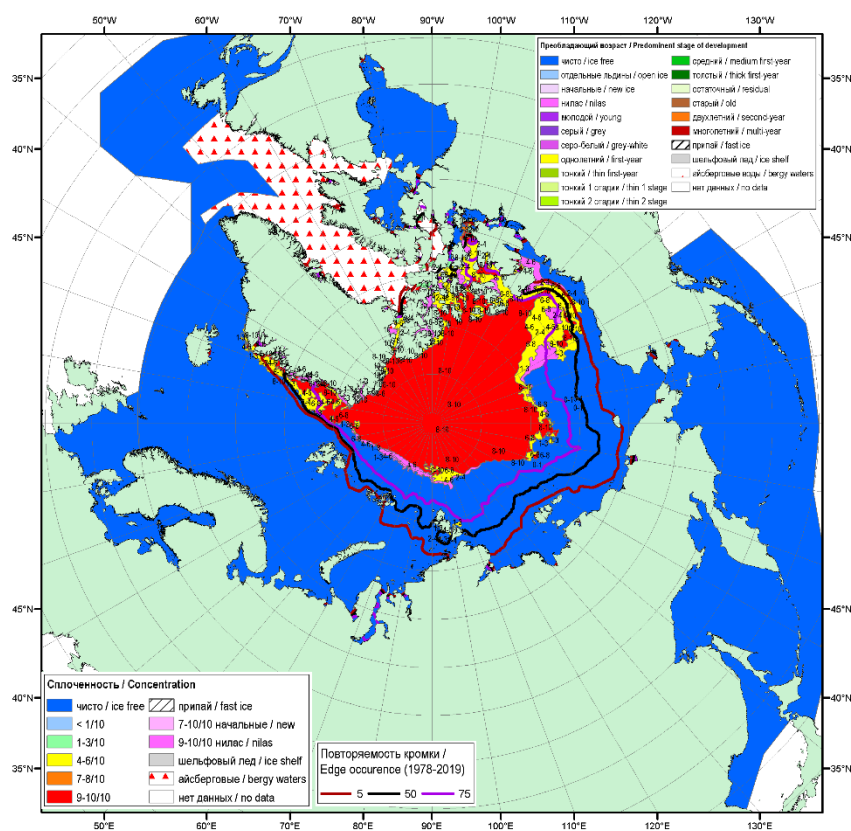


Рис. 2.10 Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 17–22.09.2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

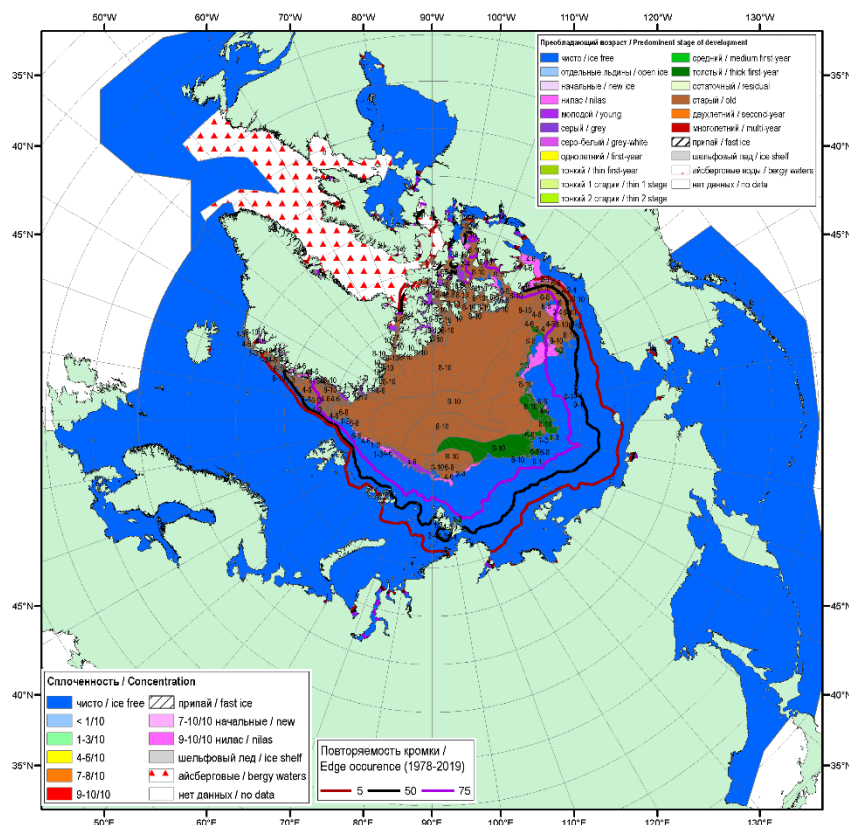


Рис. 2.11 Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 17–22.09.2020 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛС США

Дрейф ледяного покрова приведен на рисунке 2.12. В сентябре сформировалась классическая схема дрейфа. Но вследствие малого развития ледяного покрова все основные структуры дрейфа были развиты не полностью. Наблюдался частично развитый Трансарктический перенос, который начинался к северу от моря Лаптевых и через приполюсный район выносил льды к побережью Гренландии и далее в пролив Фрама. Также наблюдался частично развитый Канадский антициклонический круговорот, у которого вследствие отсутствия льда в морях Чукотском и Бофорта, в дрейфе льда участвовала только одна ветвь, выносящая льды к островам Канадского Арктического архипелага (рис. 2.12).



Рис. 2.12 Поле скорости фактического дрейфа морского льда в сентябре 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне

По модельным оценкам Датского метеорологического института объем морского льда в период его максимального сокращения в первой половине сентября составил около 5 тыс. км³, что на 2 тыс. км³ (около 30%) меньше среднемноголетнего значения. Эти значения были близки к значениям 2016 и 2019 гг. (рис. 2.13).

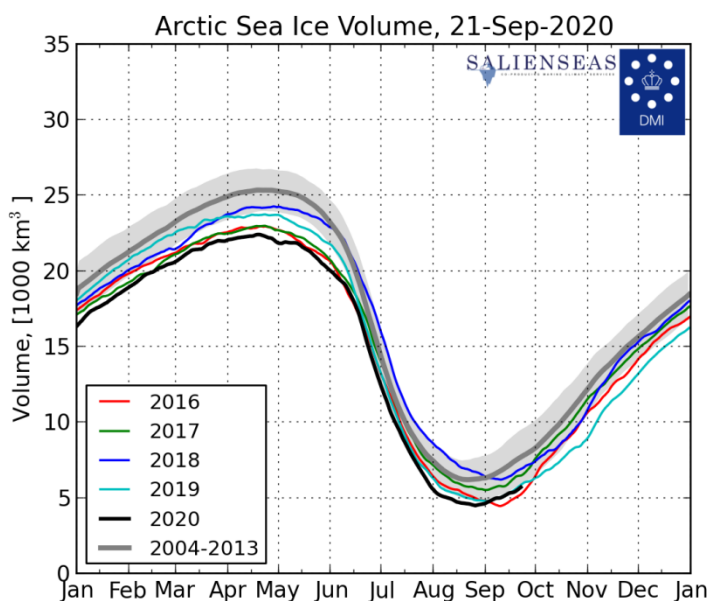


Рис. 2.13 Ежедневные оценки сезонного хода объема морского льда в СЛО на основе расчетов средневзвешенной толщины льда совместной модели морского льда – океана HYCOM/CICE Датского метеорологического института с 01.01.2004 по 21.09.2020 гг.



По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2020 г. составила 3,68 млн. км² при норме 5,9 млн. км², что на 37,6% меньше среднемноголетних значений. Значения общей площади дрейфующих льдов в СЛО оказались на 2,20 млн. км² меньше средних значений ледовитости за весь ряд наблюдений (с 1978 — 2020 гг.). По площади остаточного льда 2020 г. стал вторым по рангу минимумов в группе легких лет, уступив только 2012 г.

Данные по ледовитости Северного Ледовитого океана и его секторов на середину сентября, а также сравнение со значениями ледовитости ряда лет, начиная с 2015 г., приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Значения ледовитости за 14 — 20 сентября 2020 г. и её аномалии от значений периодов 2010-2020 гг. и 1978-2020 гг. по данным наблюдений SSMR-SSM/I-SSMIS

Северный Ледовитый океан								
Месяц	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2019 г.	2010-2020 гг.	1978-2020 гг.
14 — 20.09	3681,5	-760,0 -17,1	-648,9 -15,0	-978,9 -21,0	-864,1 -19,0	-424,2 -10,3	-705,5 -16,1	-2196,0 -37,4
Сектор 45°W-95°E (Гренландское - Карское моря)								
Месяц	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2009-2019гг	1978-2019гг
14 — 20.09	874,8	-358,0 -29,0	-270,9 -23,6	-175,0 -16,7	-108,6 -11,0	-277,7 -24,1	-236,7 -21,3	-529,1 -37,7
Сектор 95°E-170°W (моря Лаптевых - Чукотское, Берингово, Охотское)								
Месяц	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2009-2019гг	1978-2019гг
14 — 20.09	775,0	-398,2 -33,9	-510,0 -39,7	-741,7 -48,9	-440,5 -36,2	-246,3 -24,1	-428,1 -35,6	-1144,9 -59,6
Сектор 170°W-45°W (море Бофорта и Канадская Арктика)								
Месяц	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2009-2019гг	1978-2019гг
14 — 20.09	2323,7	216,7 10,3	361,0 18,4	162,3 7,5	-84,7 -3,5	330,1 16,6	164,6 7,6	-311,1 -11,8

На рисунке 2.14 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и его отдельных секторов за период с 26.10.1978 по 30.09.2020 гг. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM. Ход общей ледовитости показывает, что практически весь летний период количество льда по СЛО в целом было меньше среднемноголетнего значения (нормы за 1978 — 2019 гг.), и очень близко приближалась к экстремально малому значению, которое наблюдалось в 2012 г. Малая ледовитость СЛО в 2020 г. в основном была обусловлена малой ледовитостью двух секторов Арктики — сектором 45°W — 95°E (Гренландское — Карское моря) и сектором 95°E — 170°W (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское). В отличие от малой ледовитости, наблюдаемой в этих секторах, в секторе



170°W — 45°W (море Бофорта и Канадская Арктика) ледовитость было достаточно высокой в зимний, весенний и летние периоды, превышая норму для короткого ряда 2010 — 2012 гг. (таблица 2.1, рисунок 2.14).

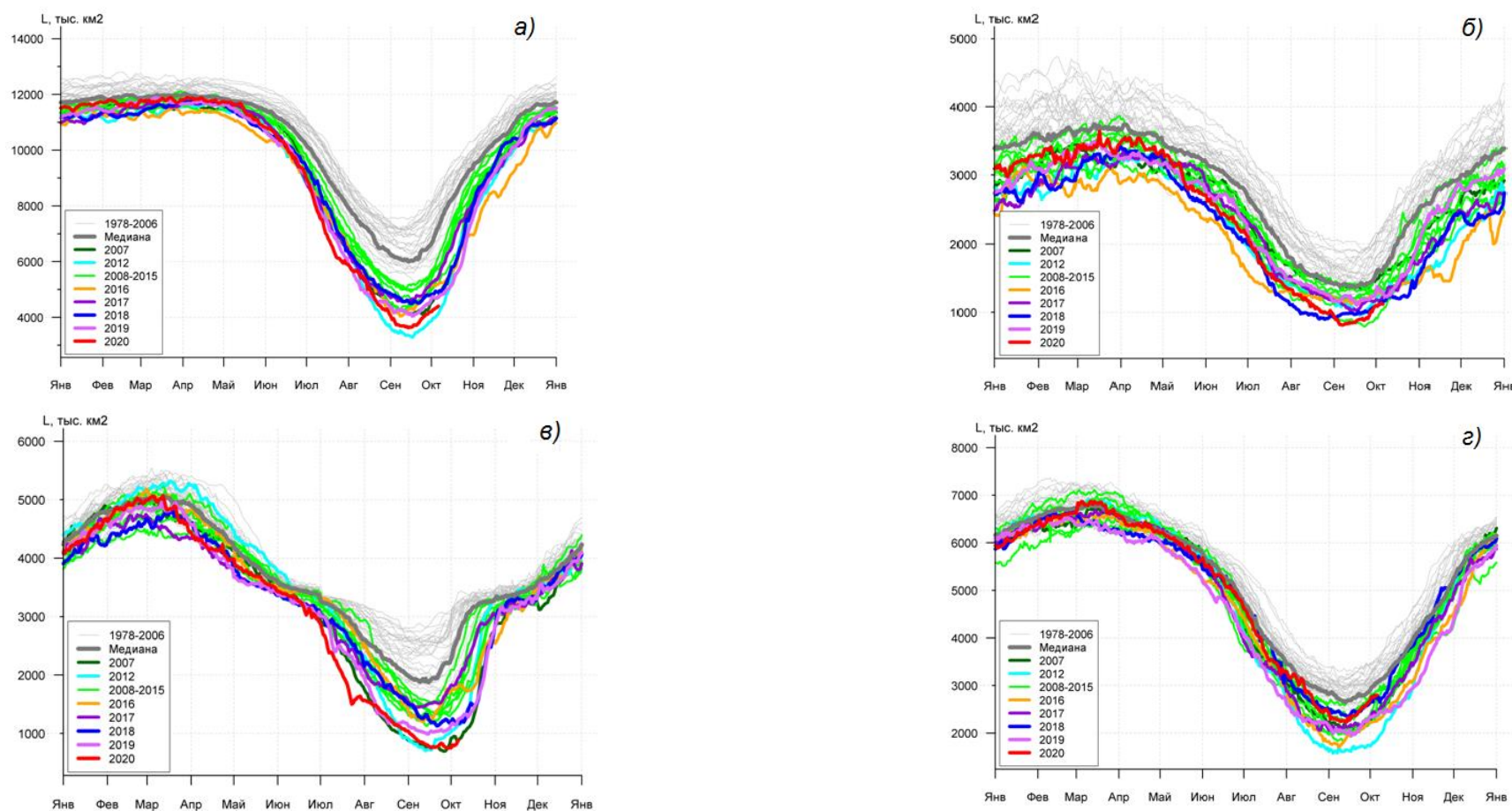


Рис. 2.13 Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости

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) 70°W-45°W (море Бофорта и Канадская Арктика) за период 26.10.1978-30.09.2019 гг. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM

3 Гидрологические и гидрохимические условия Северного Ледовитого океана и его морей в 2020 г.

3.1 Термохалинные условия

Анализ термохалинного состояния вод Северного Ледовитого океана (СЛО) в третьем квартале 2020 г. выполнен на основании данных автономных дрейфующих комплексов ИТР (Ice-Tethered Profiler), оснащенных профилографами, обеспечивающими непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760-метрового слоя вод (табл. 3.1.1, рис. 3.1.1).

Таблица 3.1.1

Сведения о наблюдениях за температурой и соленостью, выполненных на акватории СЛО в третьем квартале 2020 г. и загруженных в БДТХ отдела океанологии АНИИ

№п/п	Экспедиция	Дата первой и последней станций		Число станций
1	ИТР 94	01.07.2020	18.08.2020	63
2	ИТР 111	01.07.2020	05.08.2020	30
3	ИТР 113	01.07.2020	30.09.2020	899
4	ИТР 114	01.07.2020	29.09.2020	896
2	ИТР 120	23.09.2020	30.09.2020	29
2	ИТР 121	21.09.2020	30.09.2020	19

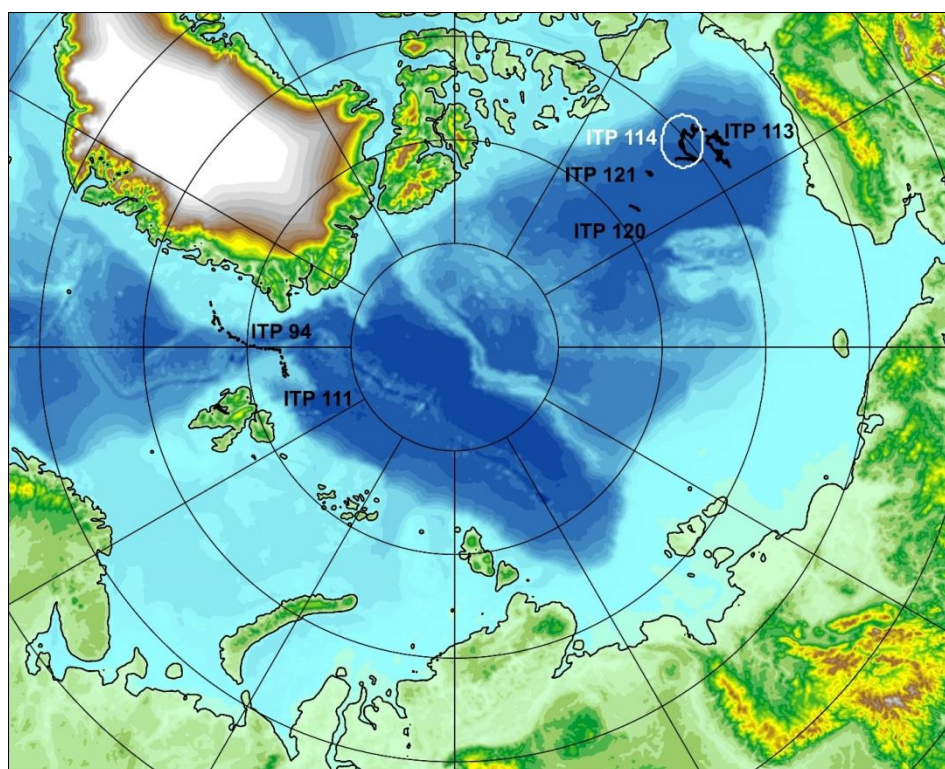


Рис. 3.1.1 Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО в третьем квартале 2020 г. и занесенных в БД термохалинных характеристик отдела океанологии АНИИ

3.1.1 Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО в третьем квартале 2020 г. был осуществлен анализ вертикального распределения значений температуры и солёности в предварительно выделенной группе океанографических станций. В качестве таковой использовались данные ИТР 114 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 солёности. 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 2020 году.

Амеразийский суббассейн

В третьем квартале 2020 г. распределение термохалинных характеристик по глубине в центральной части Канадской глубоководной котловины по данным ИТР 114 соответствовало тенденциям, наблюдающимся на протяжении последних нескольких лет. Поверхностный слой по-прежнему демонстрирует существенное распреснение (27,1 ‰) в сравнении с климатической нормой (29,1 ‰). Значение отрицательной аномалии поверхностной солёности составило — 2,0 ‰ (рис. 3.1.2). В аналогичный период 2019 г. аномалия поверхностной солёности составила –3,0 ‰, в 2018 г. — –2,3 ‰. Температура верхнего перемешанного слоя варьировалась в пределах –1,2 °С и незначительно превышала климатическое среднее (–1,5 °С), вследствие повышения температуры замёрзания воды из-за наличия распреснённого 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 солёностью от 31 до 33 ‰. Максимальное значение температуры слоя ЛТВ по данным ИТР 114 на горизонте 55 м составило 1,0 °С, превышая климатическую норму на 2,2 °С. В 2019 г. аномалия температуры составила 1,5 °С, в 2018 г. — 1,0 °С. Согласно полученным результатам в последние несколько лет наблюдается значительное увеличение температуры ЛТВ. При этом важно отметить, что солёность ядра ЛТВ с наибольшей температурой составила в 2020 г. 30,4 ‰, что свидетельствует также о распреснении слоя ЛТВ и расширении границ выделения данной водной массы по солёности.

Так же, как и в предыдущие периоды, отмечалось увеличение глубины залегания нижней границы ЛТВ, которая составила 175 м.

На глубинах от 180 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 114 ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 200 — 210 м, в то время как по климатическим средним ядро наблюдалось на 150 — 175 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 °C) по данным третьего квартала 2020 года располагалась на глубине 315 м (в 2019 г. — 340 м, в 2018 г. — 300 м; в 2017 г. — 310 м). Максимальное значение температуры воды в ядре АВ составило 0,76 °C (465 м глубины), что на 0,32 °C выше климатической нормы. Полученные оценки аномалий температуры АВ в 2020 г. соответствуют значениям предшествующего 2019 г., что свидетельствует об отсутствии как положительного, так и отрицательного тренда температуры АВ в Амеразийском суббассейне СЛО.

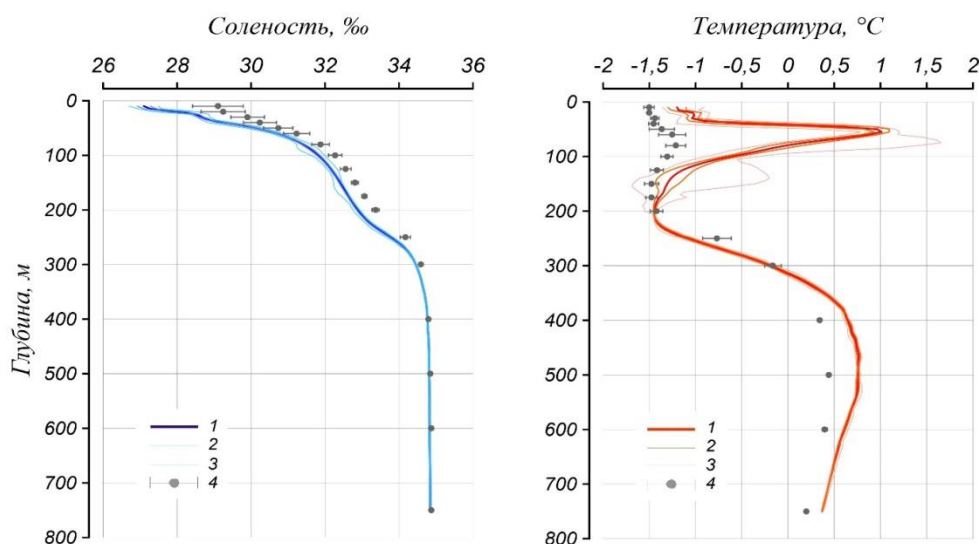


Рис. 3.1.2 Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в июле-сентябре 2020 г. по результатам измерений профилографа ИТР 114

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 АНИИ за июль-сентябрь в период с 1900 по 2000 гг.

Согласно результатам наблюдений, выполненных в третьем квартале 2020 г., гидрологический режим СЛО (Амеразийском суббассейне) продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему. Распределение поверхностной солености характеризуется наличием выраженной отрицательной аномалии (-2,0 ‰) в центральной части Канадской глубоководной котловины. Сохраняется положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ), значение которой в Канадской глубоководной котловине составило +0,32 °С. Также как и АВ, летние тихоокеанские воды характеризуются повышенной температурой, превышающей климатическое среднее на 2,2 °С.

3.2 Уровень арктических морей

Характеристика особенностей колебаний уровня арктических морей за период с июля по сентябрь 2020 года составлена по данным четырехсрочных наблюдений на 13-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 июль-сентябрь 2020 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
Белый Нос Мыс	69 36 N	60 10 E
Попова (быв. о. Белый)	73 20 N	70 03 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

В 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 колебания уровня происходили на повышенном фоне. С июля по сентябрь на этих станциях происходило повышение уровня моря, что особенно заметно для станций Амдерма и им. Е.К. Фёдорова

(мыс Большой Болванский Нос). Минимальные значения уровня для этих станций зафиксированы в конце июля: в Амдерме — 28 июля (–34 см), в Усть-Каре — 26 и 27 июля (–38 см). Максимальный уровень на всех станциях пришёлся на 18 сентября (им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос) — +74 см, Амдерма — +77 см, Усть-Кара — +56 см).

На станциях мыс Белый Нос и им. Попова (быв. о. Белый) в июле средний уровень был ниже среднемноголетнего (на станции им. Попова (быв. о. Белый) так же было и в августе). Так же стоит отметить, что минимальные значения уровня моря для этих станций наблюдались в августе.

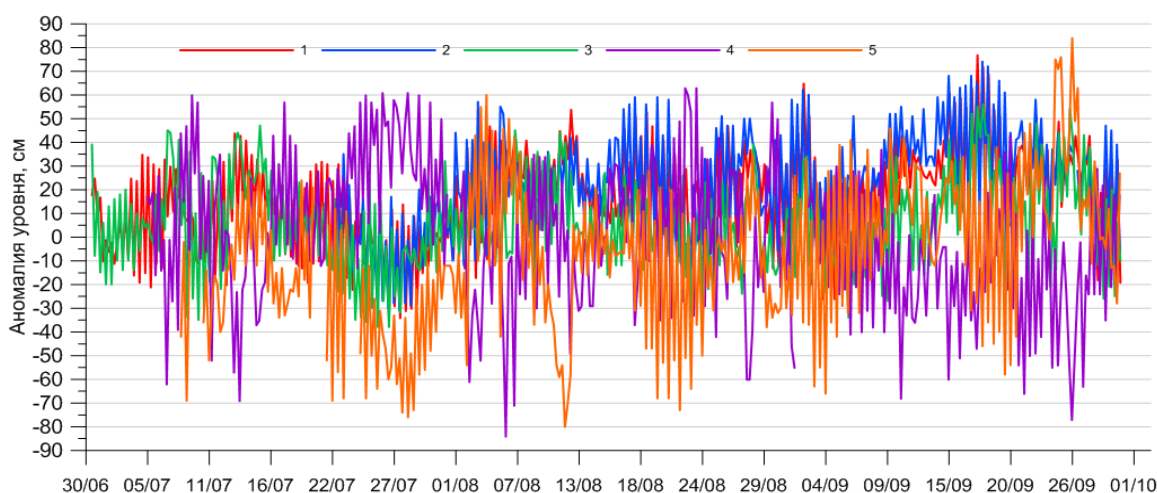


Рис. 3.2.1 Колебания уровня на станциях юго-западной части Карского моря в июле — сентябре 2020 г.

(1 — Амдерма; 2 — им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос); 3 — Усть-Кара; 4 — мыс Белый Нос; 5 — Попова (быв. о. Белый))

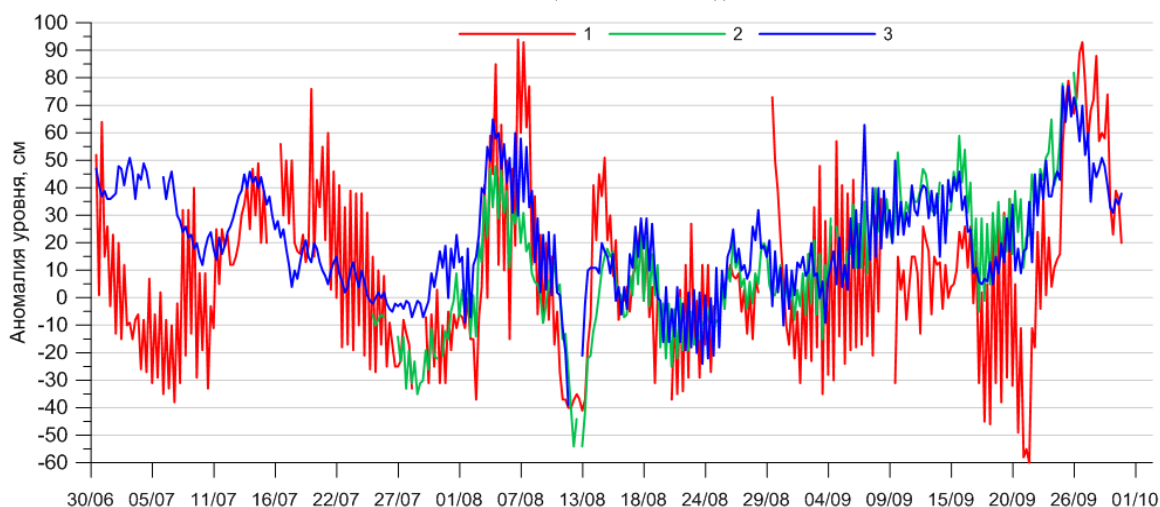


Рис. 3.2.2 Колебания уровня на станциях северо-восточной части Карского моря в июле - сентябре 2020 г.

(1 — Сопочная Карга; 2 — Мыс Стерлегова; 3 — о. Диксон)

Таблица 3.2.2

Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях юго-западной части Карского моря в июле - сентябре 2020 г.

Станция	Хар-ки	Месяц		
		июль	август	сентябрь
им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос)	h_{cp} (см)	—	22	31
	σ_h (см)	—	19	21
	h_{min} (см)	—	–17	–21
	Дата	—	22	4
	h_{max} (см)	—	59	74
	Дата	—	18,20	18
Амдерма	h_{cp} (см)	5	20	25
	σ_h (см)	19	18	20
	h_{min} (см)	–34	–17	–26
	Дата	28	4	4,5
	h_{max} (см)	44	54	77
	Дата	13	12	18
Усть-Кара	h_{cp} (см)	4	6	9
	σ_h (см)	21	16	21
	h_{min} (см)	–38	–34	–34
	Дата	26,27	23	6
	h_{max} (см)	47	45	56
	Дата	16	7	18
Мыс Белый Нос	h_{cp} (см)	–13	1	14
	σ_h (см)	30	30	26
	h_{min} (см)	–60	–62	–42
	Дата	27,29	23,24	21
	h_{max} (см)	70	85	78
	Дата	14	7	26
Попова (быв. о. Белый)	h_{cp} (см)	–26	–10	8
	σ_h (см)	27	29	31
	h_{min} (см)	–76	–80	–66
	Дата	29	12	4
	h_{max} (см)	27	60	84
	Дата	16	5	26

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

На северо-востоке Карского моря (рис. 3.2.2, табл. 3.2.3) на станциях Мыс Стерлегова и ГМО им. Е.К. Федорова (мыс Челюскина) и о. Диксон заметно явное понижение уровня моря к середине рассматриваемого квартала, с последующим повышением к концу квартала. Это можно видеть как на графике, так и по среднемесячным значениям уровня. Минимальное значение уровня моря для данных пунктов было зафиксировано 12 и 13 августа (о. Диксон — –39 см, Сопочная Карга — –41 см, м. Стерлегова — –54 см). Максимальный уровень наблюдался 26 — 27 сентября (о. Диксон — +77 см, Сопочная Карга — +93 см, м. Стерлегова — +82 см).

Таблица 3.2.3

Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях северо-восточной части Карского моря и Обской губы в июле - сентябре 2020 г.

Станция	Хар-ки	Месяц		
		июль	август	сентябрь
Новый порт (Обская губа)	h _{ср} (см)	17	14	12
	σ _h (см)	19	18	18
	h _{min} (см)	-18	-27	-31
	Дата	4	4	11
	h _{max} (см)	56	47	40
	Дата	29	9,10	30
	h _{ср} (см)	21	13	29
	σ _h (см)	17	21	19
	h _{min} (см)	-7	-39	-9
	Дата	29,30	12	4
о. Диксон	h _{max} (см)	51	65	77
	Дата	4	5	25,26
	h _{ср} (см)	7	6	13
	σ _h (см)	27	31	34
	h _{min} (см)	-38	-41	-60
	Дата	8	13	22
	h _{max} (см)	76	94	93
	Дата	20	7	27
	h _{ср} (см)	—	2	28
	σ _h (см)	—	19	19
Сопочная Карга	h _{min} (см)	—	-54	-15
	Дата	—	12,13	4
	h _{max} (см)	—	48	82
	Дата	—	5	26
	h _{ср} (см)	—	—	—
	σ _h (см)	—	—	—
	h _{min} (см)	—	—	—
	Дата	—	—	—
	h _{max} (см)	—	—	—
	Дата	—	—	—
м. Стерлегова	h _{ср} (см)	—	—	—
	σ _h (см)	—	—	—
	h _{min} (см)	—	—	—
	Дата	—	—	—
	h _{max} (см)	—	—	—
	Дата	—	—	—
	h _{ср} (см)	—	—	—
	σ _h (см)	—	—	—
	h _{min} (см)	—	—	—
	Дата	—	—	—



Рис. 3.2.3 Колебания уровня на станции в Обской губе Карского моря (Новый Порт) в июле - сентябре 2020 г.

На станции Новый Порт (Обская губа) (рис. 3.2.3, табл. 3.2.3) колебания уровня носили неравномерный характер. В июле здесь происходил постепенный подъем уровня моря, и его среднее значение составило +17 см. В августе и сентябре несколько раз наблюдались довольно сильные сгоны, поэтому средний уровень был чуть ниже чем в июле (+14 и +12 см). Самое минимальное значение уровня моря зафиксировано 11 сентября – -31 см, а самое максимально — 29 июля — +56 см.

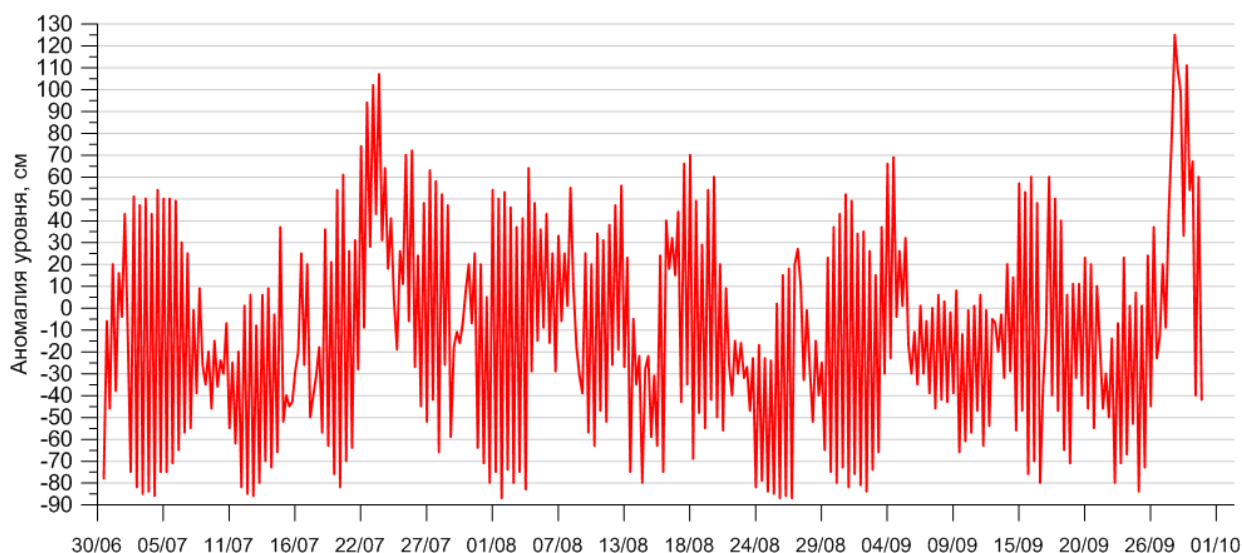


Рис. 3.2.4 Колебания уровня в юго-западной части моря Лаптевых (Анабар) в июле - сентябре 2020 г.

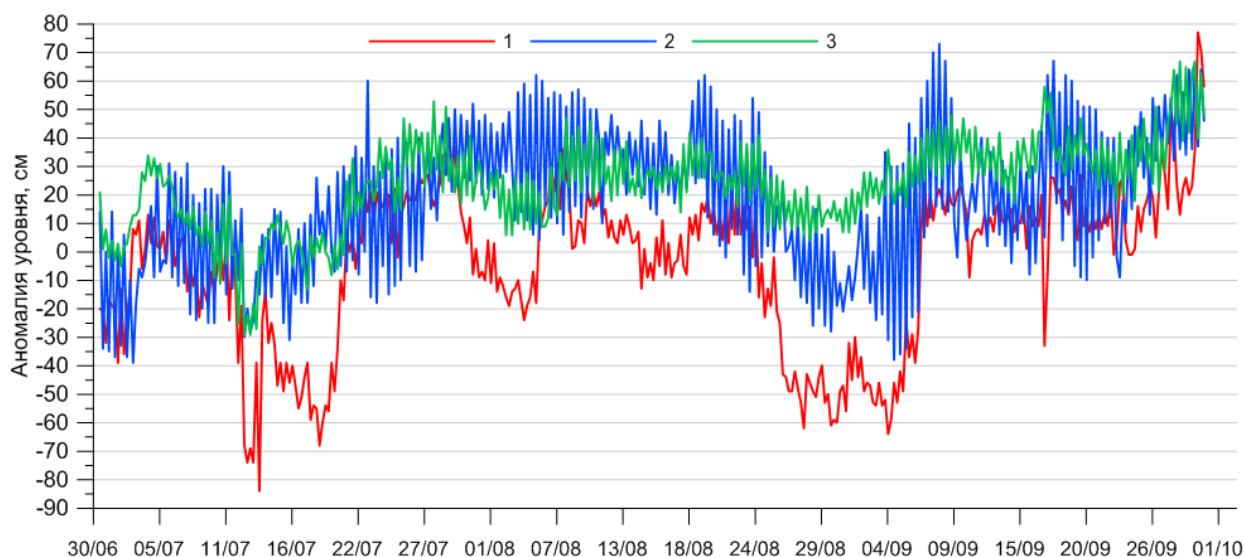


Рис. 3.2.5 Колебания уровня на станциях восточной части моря Лаптевых в июле - сентябре 2020 г.

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

Таблица 3.2.4

**Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях моря
Лаптевых в июле - сентябре 2020 г.**

Станция	Хар-ки	Месяц		
		июль	август	сентябрь
Анабар	h_{cp} (см)	-10	-14	-8
	σ_h (см)	48	45	47
	h_{min} (см)	-86	-87	-84
	Дата	5,13	3,26	2,25
	h_{max} (см)	107	70	125
	Дата	24	19	28
м. Кигилях	h_{cp} (см)	-10	-5	3
	σ_h (см)	29	23	28
	h_{min} (см)	-85	-64	-67
	Дата	13	31	3
	h_{max} (см)	46	40	84
	Дата	29	8	30
пр. Санникова	h_{cp} (см)	14	23	34
	σ_h (см)	16	9	11
	h_{min} (см)	-29	4	7
	Дата	13	29	1
	h_{max} (см)	53	47	67
	Дата	28	8	30
о. Котельный	h_{cp} (см)	6	25	23
	σ_h (см)	23	23	26
	h_{min} (см)	-39	-28	-38
	Дата	3	30	5
	h_{max} (см)	60	62	73
	Дата	23	20	8

В юго-западной части моря Лаптевых по данным станции Анабар (рис. 3.2.4, табл. 3.2.4) колебания уровня моря происходили на пониженном фоне, не смотря на то что при нагонах аномалия уровня здесь достигала значений выше 1 м. Максимальный нагон был зафиксирован 28 сентября (+125 см).

На востоке моря Лаптевых по данным станций пр. Санникова и о. Котельный (рис. 3.2.5, табл. 3.2.4) средние значения уровня моря в августе и сентябре заметно выше, чем в июле. Минимальный уровень здесь наблюдался в начале сентября (на станции пр. Санникова – -29 см, на станции о. Котельный – -39 см). Максимальный уровень моря для этих станций был зафиксирован в разное время: на станции пр. Санникова — 30 сентября (+67 см), на станции о. Котельный – 8 сентября (+73 см). Для станции м. Кигилях, в отличие от других станций Новосибирских островов в течение рассматриваемого периода характерно большое количество сгонов, поэтому в июле и августе здесь наблюдались отрицательные средние значения уровня моря.

3.3 Ветровое волнение на акватории арктических морей в 3 квартале 2020 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 июля по сентябрь 2020 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. В 2013 г. получено свидетельство о государственной регистрации авторской технологии прогноза параметров (элементов) ветрового волнения, скорости (степени) брызгового обледенения судов в Реестре программ для ЭВМ (№2013617230 от 06 августа). Основными исходными данными модели являлись поля атмосферного давления на уровне моря (или составляющие скорости ветра на 10-ти метровом горизонте) и температура воздуха на высоте 2 м центра Брекнелл (Великобритания, EGRR), оперативно поступающие в ААНИИ в центр коммутации сообщений (ЦКС UNIMAS) автоматизированной системы передачи данных (АСПД) Росгидромета (формат данных GRIB1). Положение кромки льда при расчетах задавалось по ежедневным спутниковым многоканальным микроволновым данным (SSM/I) и уточнялось по данным реанализа 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.

Как видно из таблицы 3.3.1, в третьем квартале 2020г. на акватории Баренцева моря в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 2 до 3 м. Самыми штормовыми месяцами стали август и сентябрь. Максимальная высота волн в этот период составила 4,5–5,0 м (23 и 25 сентября), что сопоставимо с результатами расчетов третьего квартала 2019 г.

Таблица 3.3.1

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s) в Баренцевом море в третьем квартале 2020 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5
Июль	–	13	15	3	–
Август	–	4	15	8	4
Сентябрь	–	3	13	11	3
Итого	–	20	43	22	7

На рисунке 3.3.1, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн H_s на акватории Баренцева моря 23 сентября 2020 г. на 12 ч.

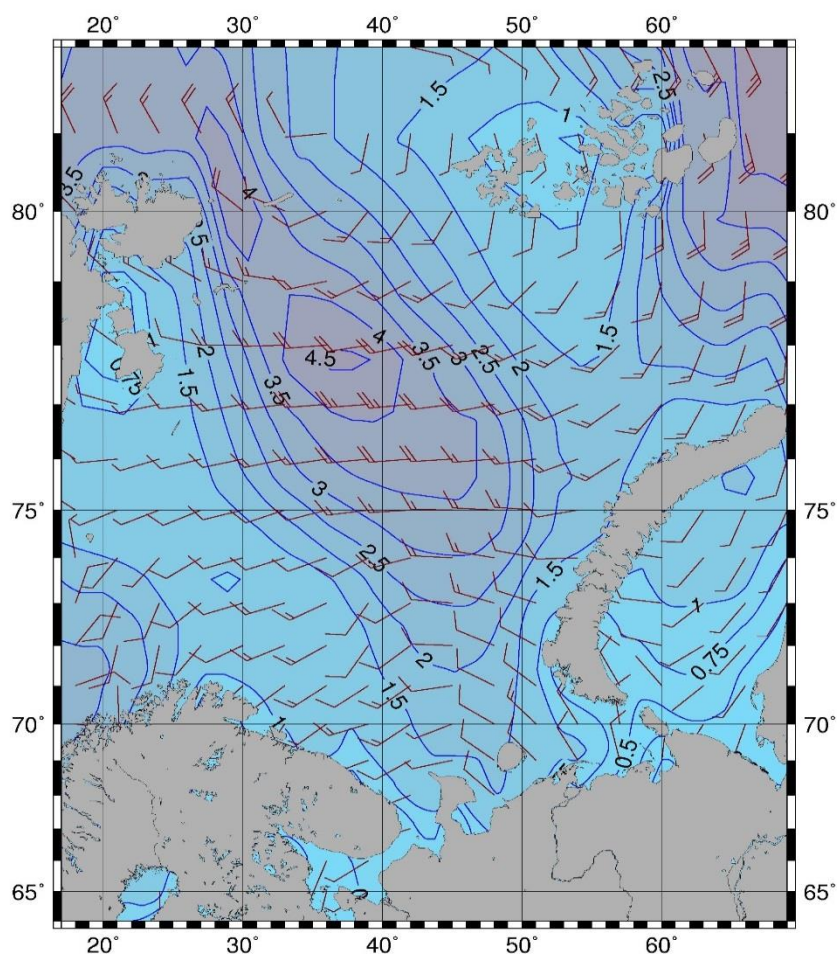


Рис. 3.3.1 Поле ветра и высот волн (H_s , м) в Баренцевом море на 12 ч UTC 23 сентября 2020 г.

В Карском море (табл. 3.3.2) в третьем квартале 2020 г. в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 1 до 2 м. Наиболее штормовым месяцем стал сентябрь. Максимальная высота волн в этот период на севере Карского моря около Земли Франца-Иосифа составила более 4,5 м (23 сентября на 06 ч и 12 ч). Море полностью очистилось ото льда в сентябре. В это время область чистой воды доходила до 85° с.ш. и сохранялась на широте 84° до конца сентября. На рисунке 3.3.2, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн H_s на акватории Карского моря на 12 ч 23 сентября 2020 г.

Таблица 3.3.2

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s) в Карском море в третьем квартале 2020 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5
Июль	7	20	4	–	–
Август	–	15	12	4	–
Сентябрь	–	6	13	9	2
Итого	7	41	29	13	2

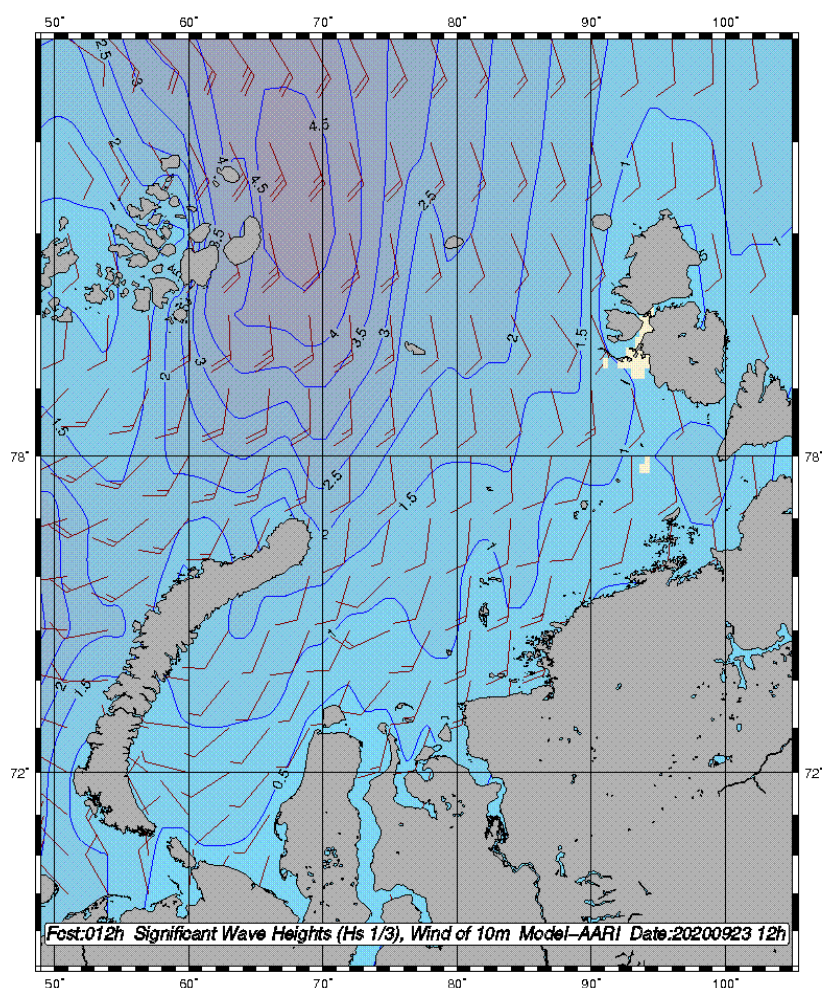


Рис. 3.3.2 Поле ветра и высот волн (H_s , м) в Карском море на 12 ч UTC 23 сентября 2020 г.

Сведения о распределении высот волн H_s в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском даны в таблицах 3.3.3 – 3.3.5. Как видно из таблиц, в море Лаптевых преобладало волнение от 2 до 3 м, в Восточно-Сибирском море от 1 до 2 м, а в Чукотском море от 1 до 3 м. Наиболее штормовым месяцем в море Лаптевых стал июль, в Восточно-Сибирском море – август и сентябрь, а в Чукотском море – сентябрь.



Наибольшая расчетная высота волны в море Лаптевых составила 4,0 — 4,5 м (16 июля на 00ч).

Наибольшая расчетная высота волны в Восточно-Сибирском море составила 3,0 — 3,5 м (23 августа на 18 ч и 27 сентября на 06 и 12 ч), что на 1 м ниже, чем в 2019 г.

Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила 4,0 — 4,5 м (3 сентября на 18 ч).

Таблица 3.3.3

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в море Лаптевых в третьем квартале 2020 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5
Июль	–	12	12	6	1
Август	2	15	10	4	–
Сентябрь	–	7	18	5	–
Итого	2	34	40	15	1

Таблица 3.3.4

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в Восточно-Сибирском море в третьем квартале 2020 г.

Месяц	Высота волн, м			
	0–1	1–2	2–3	3–4
Июль	5	22	4	–
Август	2	20	8	1
Сентябрь	–	10	19	1
Итого	7	52	31	2

Таблица 3.3.5

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в Чукотском море в третьем квартале 2020 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5
Июль	1	19	9	2	–
Август	4	20	5	2	–
Сентябрь	–	2	24	3	1
Итого	5	41	38	7	1

Море Лаптевых полностью освободилось ото льда в начале августа, и к концу сентября область чистой воды доходила в море Лаптевых до 83 — 84°с.ш.

Восточно-Сибирское море начало быстро открываться в третьей декаде июля и полностью освободилось ото льда во второй половине августа. К концу сентября область чистой воды в Восточно-Сибирском море доходила до 78° — 83° с.ш.

Область чистой воды в Чукотском море в конце августа распространилась до 73° с.ш., а к концу сентября до 78° — 79° с.ш.

На рисунке 3.4.3, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн H_s для морей восточной Арктики на 06 ч UTC 23 сентября 2020 г.

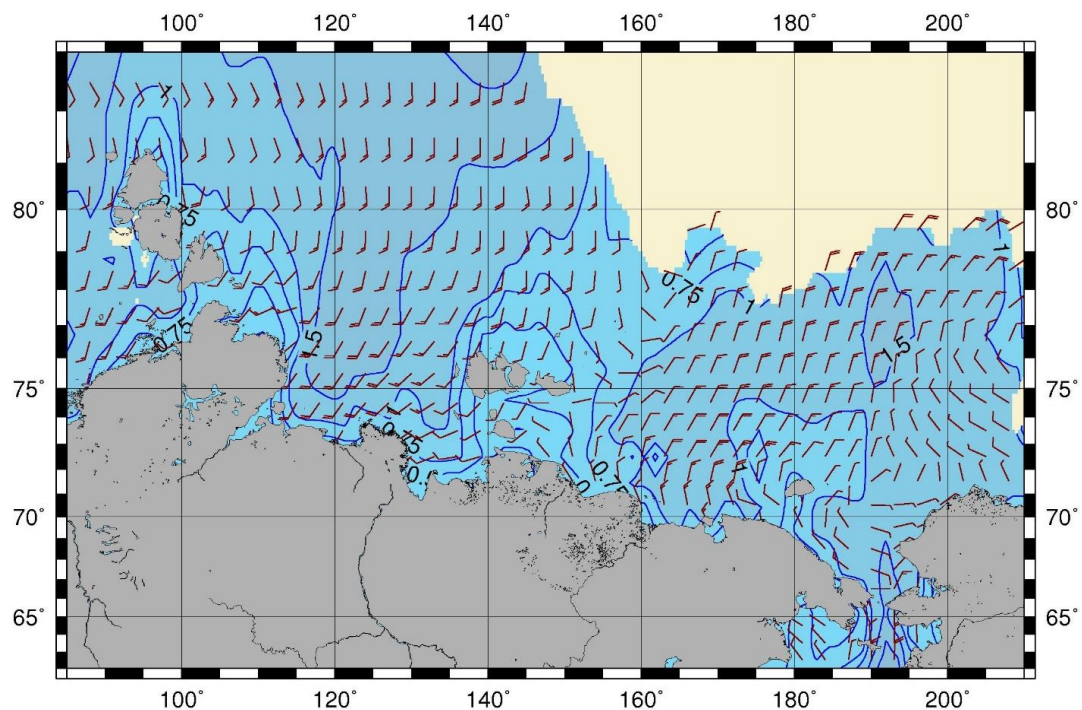


Рис. 3.3.3 Поле ветра и высот волн (H_s , м) в морях восточной Арктики на 18 ч UTC 23 сентября 2020 г.

Список литературы

1. Randelhoff A. et al. Pan-Arctic Ocean primary production constrained by turbulent nitrate fluxes //Frontiers in Marine Science. – Статья подана.
2. Ardyna M. et al. Recent Arctic Ocean sea ice loss triggers novel fall phytoplankton blooms //Geophysical Research Letters. – 2014. – Т. 41. – №. 17. – С. 6207-6212.
3. Nishino S. et al. Nutrient supply and biological response to wind- induced mixing, inertial motion, internal waves, and currents in the northern Chukchi Sea //Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2015. – Т. 120. – №. 3. – С. 1975-1992.
4. Carmack E., Wassmann P. Food webs and physical–biological coupling on pan-Arctic shelves: unifying concepts and comprehensive perspectives //Progress in Oceanography. – 2006. – Т. 71. – №. 2-4. – С. 446-477.
5. Tremblay J. É. et al. Global and regional drivers of nutrient supply, primary production and CO₂ drawdown in the changing Arctic Ocean //Progress in Oceanography. – 2015. – Т. 139. – С. 171-196.
6. Randelhoff A., Sundfjord A., Reigstad M. Seasonal variability and fluxes of nitrate in the surface waters over the Arctic shelf slope //Geophysical Research Letters. – 2015. – Т. 42. – №. 9. – С. 3442-3449.
7. Holding J. M. et al. Seasonal and spatial patterns of primary production in a high-latitude fjord affected by Greenland Ice Sheet run-off //Biogeosciences. – 2019. – Т. 16. – №. 19.
8. Law C. S. et al. A Lagrangian SF₆ tracer study of an anticyclonic eddy in the North Atlantic: Patch evolution, vertical mixing and nutrient supply to the mixed layer //Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. – 2001. – Т. 48. – №. 4-5. – С. 705-724.