

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ  
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



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



**ОБЗОР  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ  
2020**

*Под редакцией  
д-ра геогр. наук А.С. Макарова*

Санкт-Петербург  
ААНИИ  
2021

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северной полярной области, Северном Ледовитом океане и его морях в 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 станциях и НИС «Ледовая база Мыс Баранова».

Обзор продолжает серию ежегодных обзоров, описывающих развитие метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	4
1. Метеорологические условия в Северной полярной области .....	6
1.1. Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь — декабрь 2020 г. ....	6
1.2. Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области .....	16
2. Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях .....	27
Введение .....	27
2.1. Развитие ледовых условий в зимний период (январь — март) .....	28
2.2. Развитие ледовых условий в весенний период (апрель — июнь) .....	36
2.3. Развитие ледовых условий в летний период (июль — сентябрь) .....	44
2.4. Развитие ледовых условий в осенний период (октябрь — декабрь) .....	52
2.5. Ледово-гидрологические процессы в устьевых областях рек .....	60
3. Гидрологические и гидрохимические условия в Северном Ледовитом океане и его морях ....	70
3.1. Термохалинные условия .....	70
3.2. Уровень арктических морей .....	73
3.3. Ветровое волнение на акватории арктических морей .....	79
Заключение .....	85

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в 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 станциях и НИС и научной обсерватории «Ледовая база Мыс Баранова».

Обзор продолжает серию ежегодных обзоров, описывающих развитие метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане.

Метеорологический раздел посвящен описанию особенностей развития крупномасштабных метеорологических процессов и изменчивости различных метеорологических элементов. В составлении раздела принимали участие специалисты 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 К.В. Фильчук).

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.

В составлении обзора принимали участие ведущие специалисты ААНИИ:

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

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

Е.И. Александров, старший научный сотрудник (п. 1.2);

В.Р. Байбородова, ведущий инженер (п. 1.2);

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

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

Е.А. Павлова, научный сотрудник (п. 2.1 — 2.4);

Д. М. Демчев, ведущий инженер (п. 2.1 — 2.4);  
М.Ю. Кулаков, старший научный сотрудник (п. 2.1 — 2.4);  
А.Б. Тимофеева, младший научный сотрудник (п. 2.1 — 2.4);  
Т. В. Шевелева, ведущий инженер (п. 2.1 — 2.4);  
Н.В. Беляева, начальник сектора (п. 2.5);  
Н.В. Корельская, ведущий инженер (п. 2.5);  
М.А. Ступичева, ведущий инженер (п. 2.5);  
М.С. Махотин, заведующий лабораторией (п. 3.1);  
Л.А. Тимохов, главный научный сотрудник (п. 3.1);  
Н.В. Лебедев, старший научный сотрудник (п. 3.1);  
А.Е. Новихин, заведующий лабораторией (п. 3.2);  
И.М. Ашик, заместитель директора (п. 3.2);  
В.А. Меркулов, научный сотрудник (п. 3.3);  
В.И. Дымов, заведующий лабораторией (п. 3.4);  
Н.П. Яковлева, научный сотрудник (п. 3.4).

# 1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

## 1.1. МОНИТОРИНГ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЯРНОМ РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗА ПЕРИОД ЯНВАРЬ — ДЕКАБРЬ 2020 г.

В настоящем разделе приводятся основные результаты мониторинга развития атмосферных процессов разного пространственно-временного масштаба и связанных с ними изменений метеорологических условий в полярном районе Северного полушария за период с января по декабрь 2020 г.

При анализе крупномасштабных процессов 2020 г. учитывались развитие и перестройка общей циркуляции атмосферы (ОЦА), местоположение центра планетарного циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа, географическая ориентация планетарной фронтальной зоны, состояние длинных термобарических волн, развитие стационарных циклонов и антициклонов (центров действия атмосферы), траектории фронтальных циклонов и антициклонов. Оценка пространственно-временной изменчивости процессов проводилась средствами комплексного аэросиноптического анализа термобарических полей в толще тропосферы путем выделения квазиоднородных циркуляционных периодов с однонаправленным развитием крупномасштабных процессов.

Особенности развития атмосферных процессов в 2020 г. представлены в виде годовых и среднемесячных значений числа дней с основными формами и типами циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма — А.А. Гирса (табл. 1.1.1 и рис. 1.1.1, 1.1.2), карт среднегодовых полей геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, приземных значений давления и температуры воздуха и их аномалий (рис. 1.1.3 — 1.1.8). Расчеты среднегодовых значений метеорологических показателей проводились по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужбы США (NOAA и NWS). Расчеты значений аномалии температуры воздуха проводились относительно норм за период с 1961 по 1990 г.

В первом секторе Северного полушария в 2020 г. наибольшую повторяемость имели процессы восточной и западной форм циркуляции.

Во втором секторе Северного полушария в 2020 г. отмечалась наиболее высокая повторяемость меридиональных процессов типа  $M_1$ , которая превысила многолетнюю норму на 61 день.

Таблица 1.1.1

Годовые значения числа дней с формами и типами циркуляции  
и их отклонение от нормы в 2020 г.

Повторяемость	Индекс циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	$W$	$S$	$E$	$3$	$M_1$	$M_2$
Число дней	134	86	145	109	160	96
Аномалия	7	-7	0	-20	61	-41

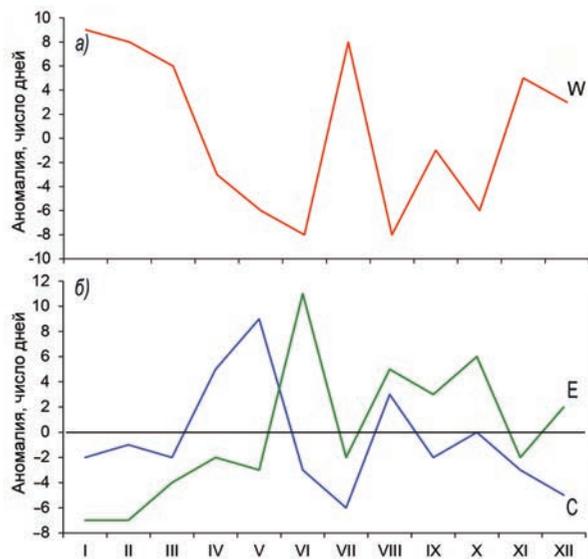


Рис. 1.1.1. Годовой ход среднемесячных значений аномалии числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в атлантико-евразийском секторе в 2020 г. W — западная (зональная) форма, C — меридиональная форма, E — восточная (меридиональная) форма.

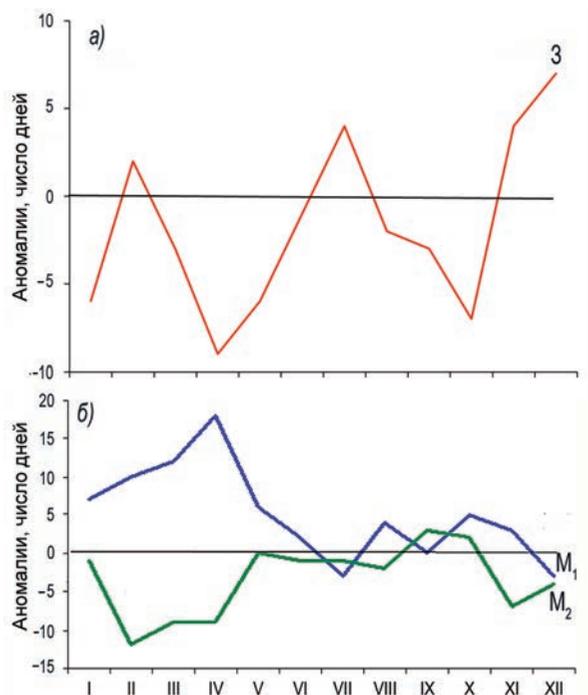


Рис. 1.1.2. Годовой ход среднемесячных аномалий числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в тихоокеано-американском секторе в 2020 г. З — зональная форма, M<sub>1</sub> — первая меридиональная форма, M<sub>2</sub> — вторая меридиональная форма.

Особенностью крупномасштабных процессов Северного полушария в 2020 г. стало усиление в атлантико-евразийском секторе зональных процессов западной формы циркуляции, повторяемость которых по сравнению с предшествующим годом увеличилась на 35 дней. В тихоокеано-американском секторе отмечалось увеличение повторяемости меридиональных процессов типа  $M_1$  на 11 дней.

Средние за 2020 г. значения геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа и его аномалии относительно нормы за период 1961—1990 гг. представлены на рис. 1.1.3 и 1.1.4.

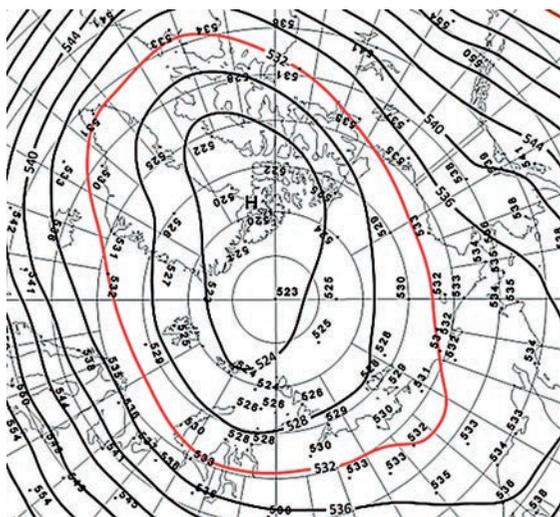


Рис. 1.1.3. Поле среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2020 г.

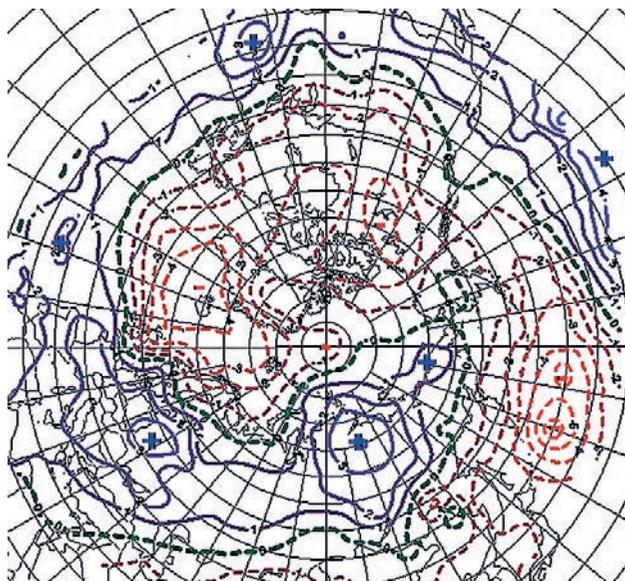


Рис. 1.1.4. Поле средней аномалии геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2020 г. по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужб США (NOAA и NWS).

По среднегодовым данным в средней тропосфере, на изобарической поверхности 500 гПа, центр планетарного циркумполярного вихря чаще располагался в канадско-гренландском секторе полярного района Арктики, и ось его ложбины была ориентирована на западный сектор Арктики, где в приземном поле преобладал циклонический режим циркуляции воздушных масс.

Высотный гребень, блокирующий генеральный западный перенос воздушных масс в толще тропосферы, чаще всего располагался над континентальной частью Азии (восточная форма циркуляции  $E$ ); ось его была часто ориентирована через районы морей Лаптевых и Восточно-Сибирского на восточный сектор полярного района.

Во втором, тихоокеано-американском секторе полушария блокирующие гребни располагались преимущественно над восточной частью акватории Тихого океана (меридиональный тип циркуляции  $M_1$ ).

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

В большинстве месяцев ВФЗ в атлантико-евразийском секторе Северного полушария в 2020 г. располагалась чаще севернее своего многолетнего положения. В результате смещение циклонов в системах исландского минимума в полярный район Арктики происходило в основном по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям.

При высокой повторяемости высокоширотных траекторий циклонов в системе исландского минимума отмечалось усиление циклонической деятельности в западном секторе полярного района и преобладание отрицательных аномалий давления. Наиболее активная циклоническая деятельность наблюдалась в морях российской Арктики: Баренцевом и Карском (рис. 1.1.5 и 1.1.6).

Исключением стали периоды июль — август и декабрь, когда ВФЗ располагалась в основном южнее своего многолетнего положения. Циклоны в системах исландского минимума смещались по более низкоширотным по сравнению с нормой траекториям по континентальной части Евразии и не оказывали существенного влияния на полярный район Арктики.

В тихоокеано-американском секторе Северного полушария в большинстве месяцев циклоны в системах алеутского минимума смещались по ВФЗ через Аляску на полярный район Северной Америки.

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

В восточном секторе при преобладании высокоширотных траекторий циклонов в полярном районе Арктики сформировалось поле отрицательных среднегодовых значений аномалий давления. Во втором секторе Северного полушария развитие крупномасштабных атмосферных процессов было характерным для текущей циркуляционной стадии, когда циклоны в системе алеутского минимума смещались по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям (рис. 1.1.5 и 1.1.6).

Такое развитие крупномасштабных атмосферных процессов в 2020 г. способствовало преобладанию в среднем за год адвекции теплых воздушных масс и формированию устойчивого фона с положительными аномалиями температуры воздуха



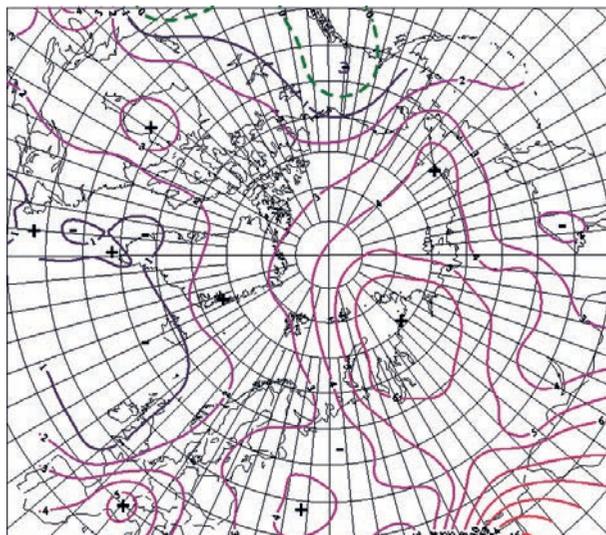


Рис. 1.1.7. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха (°C) за период январь — декабрь 2020 г.

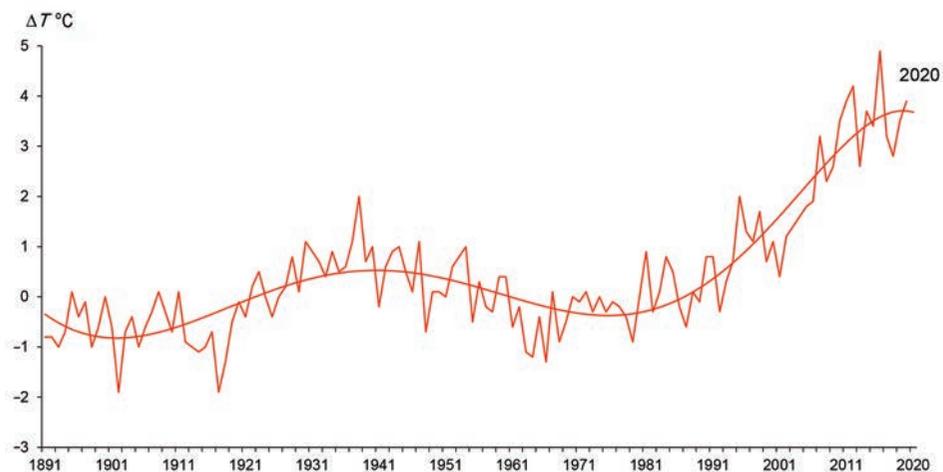


Рис. 1.1.8. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (°C) в широтном поясе 70 — 85° с.ш. (1891—2020 гг.).

Анализ развития процессов показал, что в течение 2020 г. от месяца к месяцу отмечались частые изменения направленности развития крупномасштабных атмосферных процессов (см. рис. 1.1.1 и 1.1.2).

Внутри года выделен ряд стадий с однонаправленным развитием процессов, каждая из которых характеризуется разновидностью форм и типов циркуляции атмосферы в атлантико-евразийском и тихоокеано-американском секторах Северного полушария.

Схема развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов в Северном полушарии с января по декабрь 2020 г. по среднемесячным данным выглядит следующим образом:

Январь  $W_{M_1}$  → Февраль  $W_{M_1+3}$  → Март  $W_{M_1}$  →  
 Апрель  $C_{M_1}$  → Май  $C_{M_1}$  → Июнь  $E_{M_1}$  →  
 Июль  $W_3$  → Август  $(E+C)_{M_1}$  → Сентябрь  $(E)_{M_2}$  →  
 Октябрь  $E_{M_1+M_2}$  → Ноябрь  $W_3$  → Декабрь  $(E+W)_3$

На рис. 1.1.9 представлены изменения средних месячных значений аномалии давления в центральном полярном районе Арктики в январе — декабре 2020 г.

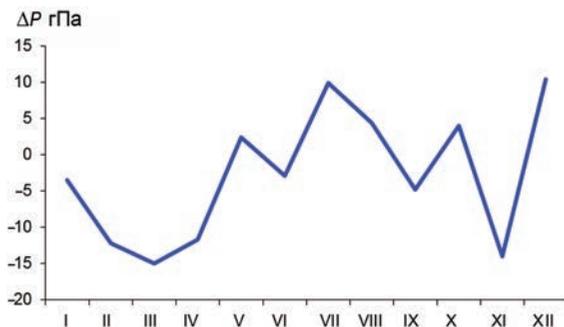


Рис. 1.1.9. Среднемесячные значения аномалии давления в январе — декабре 2020 г. в Центральном полярном районе Арктики.

Наиболее активная циклоническая деятельность отмечалась в период январь — апрель и в ноябре, когда под влиянием глубоких циклонов Северной Атлантики сформировался фон давления с крупными значениями отрицательных аномалий давления в полярном районе Арктики.

Наиболее высокие значения положительных аномалий давления наблюдались в период июль — август и в декабре и были обусловлены формированием устойчивого арктического антициклона,

В среднем за 2020 г. фон давления по полярному району был ниже нормы на 2,8 гПа и оказался на 5,5 гПа ниже, чем в предшествующем году. Как уже отмечалось, смена знака аномалии давления на противоположный в 2020 г. во многом была обусловлена активизацией циклонической деятельности и увеличением повторяемости высокоширотных траекторий циклонов в полярный район в сравнении с 2019 г.

Внутригодовые изменения среднемесячных значений аномалии температуры воздуха в Арктике в широтном поясе 70—85° с.ш. в январе — декабре 2020 г. представлены на рис. 1.1.10.

Во всех месяцах преобладала адвекция теплых воздушных масс в полярный район Арктики. В большинстве месяцев 2020 г. фон температуры полярного района был выше, чем в 2019 г. Наиболее крупные положительные аномалии (на 5—7 °С выше нормы) наблюдались в апреле и в период октябрь — декабрь.

Изменения среднегодовых значений аномалии температуры воздуха в 2020 г. для акваторий морей российской Арктики в сравнении со значениями за 2019 г. приводятся на рис. 1.1.11.

На трассе СМП арктических морей России в 2020 г. преобладали положительные аномалии температуры воздуха. В 2020 г. на акватории морей Баренцева, Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского отмечалось повышение фона температуры воздуха по сравнению с предшествующим 2019 г. Наиболее значительное повышение температурного фона было отмечено на акватории Карского моря,

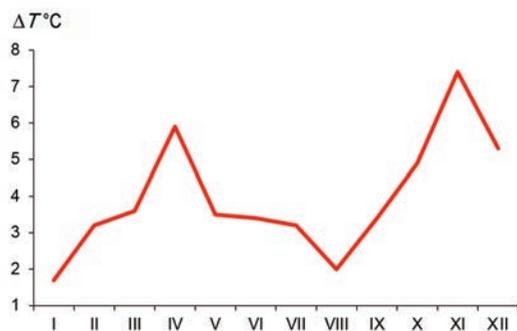


Рис. 1.1.10. Годовой ход среднемесячных значений аномалии температуры воздуха (°C) в широтном поясе 70—85° с.ш. в 2020 г.

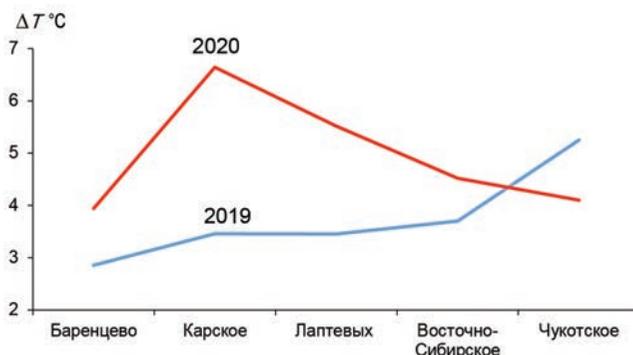


Рис. 1.1.11. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (°C) на акватории арктических морей Евразии в 2020 и 2019 гг.

где сформировался наиболее высокий фон температуры воздуха на трассе СМП. Незначительное понижение температурного фона на трассе СМП в 2020 г. отмечалось только на акватории Чукотского моря.

Тенденции изменения температуры воздуха в течение 2020 г. в целом согласуются с перестройкой крупномасштабных атмосферных процессов и сменой в направленности воздушных потоков. Наибольшие значения положительных аномалий температуры отмечались под влиянием циклонов с Северной Атлантики и Тихого океана на полярный район.

Анализ структурных особенностей циркуляции атмосферы внутри каждого месяца в 2020 г. проводился по естественным стадиям однонаправленного развития процессов по 26 разновидностям элементарных синоптических процессов (ЭСП) атлантико-евразийского сектора Северного полушария.

Анализ показал, что для каждого месяца характерна большая повторяемость перестройки процессов. Переходы от одного ЭСП к другому сопровождались сменой знака барических полей и направления преобладающих воздушных потоков в полярном районе Арктики, что было обусловлено крупномасштабной перестройкой разновидностей атмосферных процессов в двух секторах Северного полушария. Разновидности основных форм циркуляции в атлантико-евразийском секторе полушария с типами циркуляции в тихоокеано-американском секторе для каждого ЭСП с января по декабрь 2020 г. представлены в табл. 1.1.2.

**Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма — Гирса  
с января по декабрь 2020 г. с внутримесячной детализацией атмосферных процессов  
по элементарным синоптическим процессам**

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

Октябрь			Ноябрь			Декабрь		
ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А
1—8	<i>E</i>	$M_2$	1—2	<i>W</i>	$M_2$	1—2	<i>W</i>	$M_2$
9—11	<i>C</i>	3	3—8	<i>E</i>	$M_1$	3—6	<i>E</i>	3
12—15	<i>C</i>	$M_1$	9—11	<i>C</i>	3	7—13	<i>E</i>	$M_2$
16—21	<i>W</i>	$M_1$	12—13	<i>W</i>	3	14—24	<i>W</i>	3
22—23	<i>E</i>	$M_2$	14—17	<i>W</i>	3	25—29	<i>E</i>	$M_2$
24—25	<i>E</i>	$M_2$	18—23	<i>W</i>	$M_2$	30—31	<i>E</i>	3
26—28	<i>E</i>	3	24—28	<i>E</i>	3			
29—31	<i>E</i>	3	29—30	<i>W</i>	3			
Итого	<i>W</i> 6 (–6)	3 9 (–7)	Итого	<i>W</i> 16 (5)	3 16 (4)	Итого	<i>W</i> 13(3)	3 17 (7)
	<i>C</i> 7 (0)	$M_1$ 10 (5)		<i>C</i> 3 (–3)	$M_1$ 6 (3)		<i>C</i> 0 (–5)	$M_1$ 0 (–3)
	<i>E</i> 18 (6)	$M_2$ 12 (2)		<i>E</i> 11 (–2)	$M_2$ 8 (–7)		<i>E</i> 18 (2)	$M_2$ 14 (–4)

*Примечания:* 1. ЭСП — элементарный синоптический процесс; А—Е — атлантико-европейский сектор полушария; Т—А — тихоокеано-американский сектор полушария. 2. В скобках приведены значения среднемесячной аномалии повторяемости (число дней) форм (*W*, *C*, *E*) и типов ( $Z$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ) атмосферной циркуляции.

## 1.2. МОНИТОРИНГ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

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

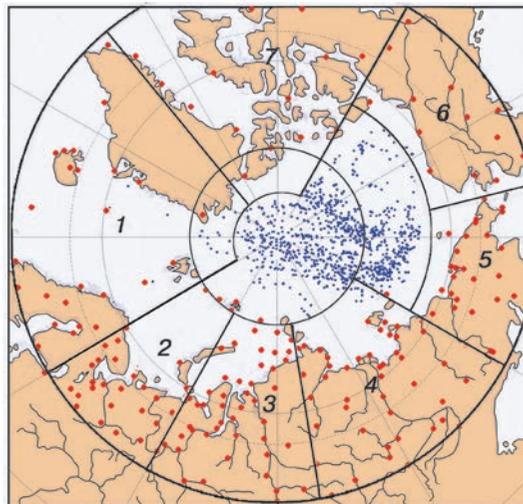


Рис. 1.2.1. Сеть метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) и границы рассматриваемых районов в СПО.

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

### Температура воздуха

Основным методом получения осредненных по территории Северной полярной области и климатических районов аномалий температуры воздуха является метод оптимального осреднения. Оценки аномалий получены относительно рекомендованного ВМО стандартного периода 1961—1990 гг. В качестве сезонов рассматривались: зима (декабрь — февраль), весна (март — май), лето (июнь — август) и осень (сентябрь — ноябрь). За год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь рассматриваемого.

Таблица 1.2.1

**Аномалии  $\Delta T$  (отклонения от нормы за 1961—1990 гг.)  
температуры воздуха на территории СПО  
и отдельных широтных зон в среднем за год и за сезоны 2020 г.**

$\varphi^\circ$ с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$R$								
70—85	3,6	2	3,0	7	4,0	2	1,8	3	5,4	1
60—70	2,9	1	3,2	3	3,5	2	1,7	3	3,3	1
60—85	3,2	2	3,1	3	3,7	2	1,7	2	4,2	1

Примечание.  $R$  — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2020 гг.

Оценка аномалий средних сезонных и среднегодовой температуры воздуха за 2020 г. по отдельным широтным зонам (60—85, 60—70 и 70—85° с.ш.) представлена в табл. 1.2.1.

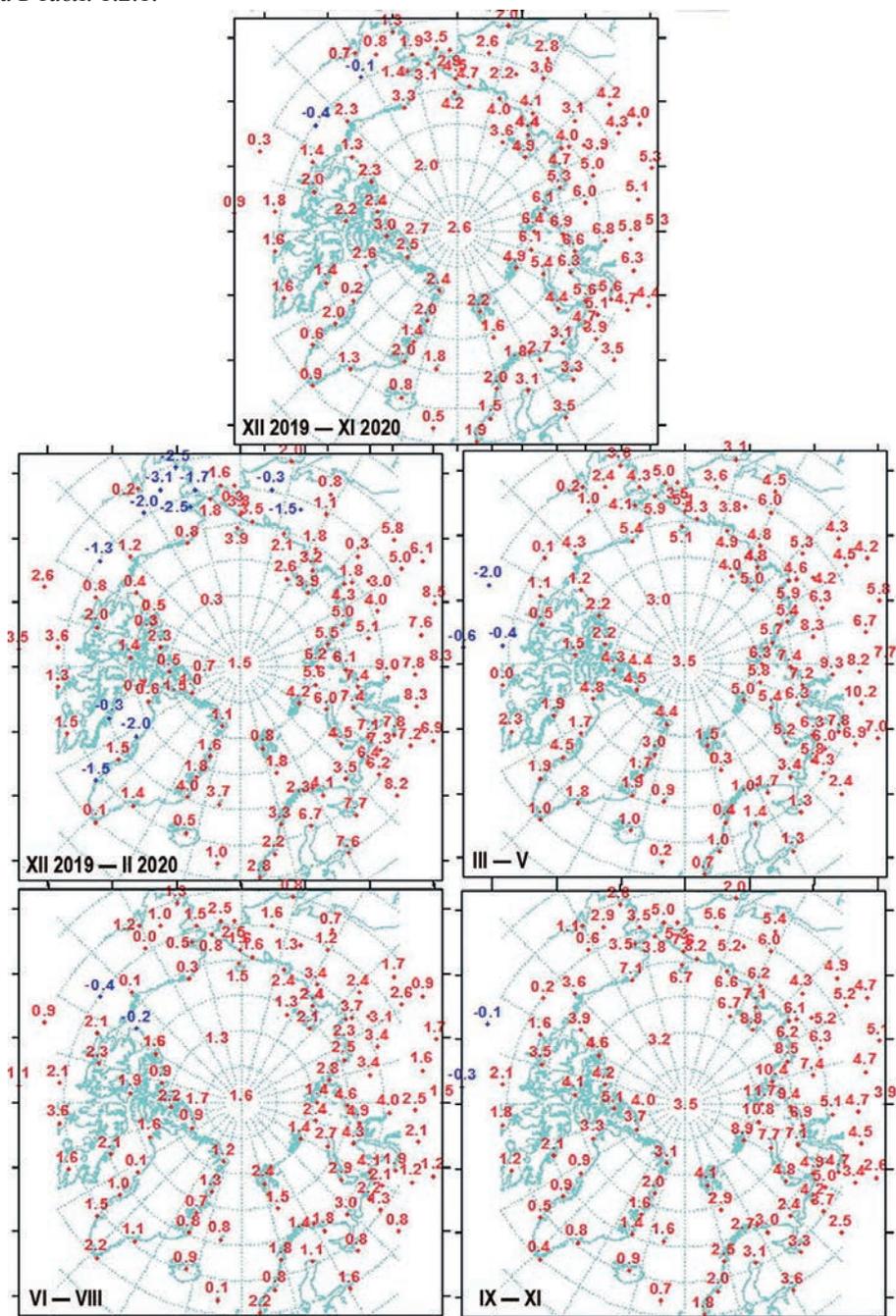


Рис. 1.2.2. Аномалии среднегодового и средних сезонных значений температуры воздуха (°С) на станциях СПО.

Значение пространственно осредненной аномалии среднегодовой температуры воздуха в СПО составило 3,2 °С, и 2020 г. стал вторым теплым годом по рангу теплых лет за период с 1936 г. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70—85° с.ш. оказалась равной 3,6 °С, а в зоне 60—70° с.ш. — 2,9 °С. Соответственно в широтной зоне 70—85° с.ш. 2020 г. стал вторым, а в широтной зоне 60—70° с.ш. — наиболее теплым в ряду убывающих температур.

Значения пространственно осредненной аномалии температуры воздуха в СПО составили: зимой 3,1 °С, весной 3,7 °С, летом 1,7 °С и осенью 4,2 °С. Соответственно в ряду наибольших значений зимний сезон стал третьим, весенний и летний сезоны оказались вторыми, а осенний сезон — наиболее теплым за весь период наблюдений с 1936 г. В широтных зонах 70—85 и 60—70° с.ш. наиболее теплыми в 2020 г. оказались весенний и осенний сезоны. Аномалия температуры воздуха весной в широтной зоне 70—85° с.ш. составила 4,0 °С, а в зоне 60—70° с.ш. — 3,5 °С; осенью — 5,4 и 3,3 °С соответственно. В обеих широтных зонах весенний сезон стал вторым, а осенний самым теплым сезоном за период с 1936 г.

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

В 2020 г. области крупных положительных аномалий температуры воздуха располагались преимущественно в азиатском секторе. Самые крупные аномалии наблюдались на территории Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского районов. Значения пространственно осредненных по территории районов аномалий среднегодовой температуры воздуха составили 5,9 и 4,7 °С соответственно. Такие аномалии температуры в этих районах оказались наибольшими по рангу теплых лет за период 1936 г.

В зимнем сезоне основная область положительных аномалий температуры воздуха располагалась в евразийском секторе СПО. Значения осредненных по территориям районов аномалий составили: в Североевропейском 5,4 °С, Западно-Сибирском 7,2 °С и в Восточно-Сибирском 4,6 °С. Для Североевропейского и Западно-Сибирского районов прошедшая зима оказалась третьей, а для Восточно-Сибирского района — второй по рангу теплых лет с 1936 г.

На метеорологических станциях в районах арктических морей и на территории суши севернее параллели 70° с.ш. отмечались положительные аномалии температуры воздуха. Крупные положительные аномалии наблюдались в районе морей Карского и Лаптевых. Здесь на станциях аномалии температуры воздуха достигали 4—7 °С. В целом по району Карского моря осредненная аномалия составила 6,5 °С, по району моря Лаптевых — 4,4 °С. Зима 2019/20 г. в районе Карского моря оказалась восьмой, а в районе моря Лаптевых третьей по рангу теплых лет с 1936 г.

В весеннем сезоне область крупных положительных аномалий температуры воздуха сохранилась в азиатском секторе. Аномалия температуры в Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском районах составила 7,3 и 5,4 °С соответственно. Прошедший сезон стал в Западно-Сибирском районе первым, а в Восточно-Сибирском районе третьим теплым сезоном по рангу теплых лет с 1936 г.

Таблица 1.2.2

**Аномалии (отклонение от нормы за 1961—1990 гг.) температуры воздуха  $\Delta T$  (°С)  
для отдельных районов СПО в среднем за год и за сезоны 2020 г.**

Район	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T$ , °С	R	$\Delta T$ , °С	R						
Атлантический	1,6	6	1,9	14	1,4	10	1,3	5	1,8	7
Североевропейский	3,5	1	5,4	3	3,0	7	1,7	5	3,9	1
Западно-Сибирский	5,9	1	7,2	3	7,3	1	2,8	2	6,2	1
Восточно-Сибирский	4,7	1	4,6	2	5,4	3	2,4	2	6,3	1
Чукотский	3,5	2	1,8	13	4,6	3	1,7	6	5,8	1
Аляскинский	1,5	12	-0,9	42	2,8	9	0,7	12	3,4	5
Канадский	1,6	9	1,2	18	1,7	13	1,5	6	2,1	8

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2020 гг.

Таблица 1.2.3

**Аномалии (отклонение от нормы за 1961—1990 гг.) температуры воздуха  $\Delta T$  (°С)  
для районов севернее 70° с.ш. в среднем за год и сезоны 2020 г.**

Море, часть климатического района	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\Delta T$ , °С	R	$\Delta T$ , °С	R	$\Delta T$ , °С	R	$\Delta T$ , °С	R	$\Delta T$ , °С	R
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,9	11	2,1	19	2,0	8	1,2	10	2,4	8
Баренцево море	3,2	3	3,3	20	3,0	7	2,0	3	4,3	1
Карское море	3,8	6	4,7	15	4,8	8	1,6	6	4,0	10
Море Лаптевых	5,1	1	4,4	3	5,4	3	2,4	3	8,2	1
Восточно-Сибирское море	4,1	1	2,9	7	4,7	4	2,1	3	6,8	1
Чукотское море	3,5	5	1,6	19	5,3	3	1,3	9	5,7	2
Море Бофорта	2,3	14	0,7	29	3,2	7	0,5	14	4,8	2
Северная часть Канадского района	2,2	6	1,0	18	3,1	5	1,4	8	3,2	5

Примечание. R — ранг текущих значений в ряду убывающих температур за 1936—2020 гг.

В районах арктических морей наблюдались только положительные аномалии температуры воздуха. Наиболее высокие значения положительных аномалий отмечались в районе морей Карского и Лаптевых. На акватории этих морей прошедший весенний сезон стал вторым и третьим теплым сезоном по рангу теплых лет

В летнем сезоне основная область крупных положительных аномалий температуры по-прежнему находилась в азиатском секторе. Аномалия температуры составила в Западно-Сибирском районе 2,8 °С, а в Восточно-Сибирском районе 2,4 °С. По рангу теплых лет это второе наибольшее значение с 1936 г. для этих районов.

На акватории арктических морей наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха отмечались в районе морей азиатского сектора: Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского. В районе Карского моря осредненная аномалия составила 3,5 °С. По рангу теплых лет это наибольшее значение с 1936 г.

В осеннем сезоне на станциях СПО наиболее крупные аномалии температуры воздуха прослеживались в евразийском секторе. Значения пространственно осредненных по территориям Западно-Сибирского, Восточно-Сибирского и Чукотского

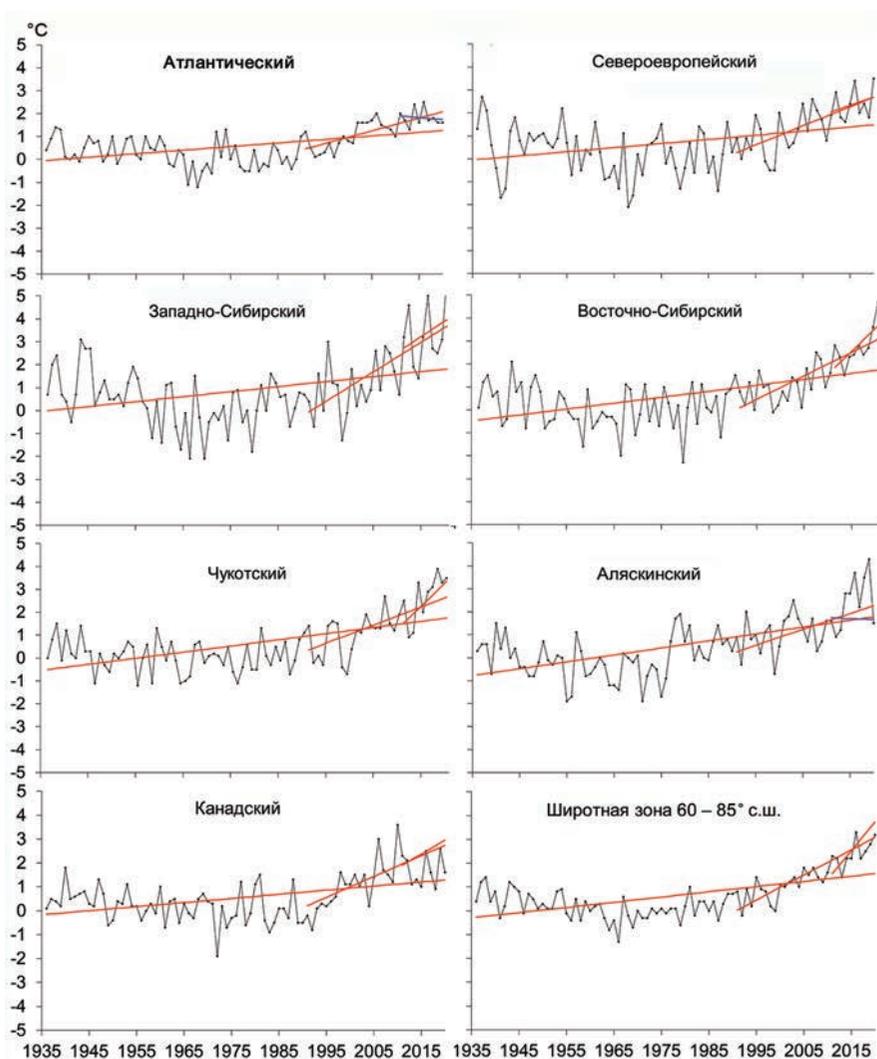


Рис. 1.2.3. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60—85° с.ш.

районов аномалий температуры воздуха составили 6,2; 6,3 и 5,8 °С. Прошедший сезон в этих районах стал первым теплым сезоном по рангу теплых лет.

На акватории арктических морей наиболее высокие значения положительных аномалий температуры воздуха также отмечались в евразийском секторе. Пространственно осредненная аномалия температуры воздуха в районе Карского моря составила 8,4 °С, а в районе моря Лаптевых — 8,2 °С. Осень 2020 г. в морях евразийского сектора стала наиболее теплой осенью по рангу теплых лет с 1936 г.

Временные ряды пространственно осредненных по территории климатических районов аномалий среднегодовой температуры воздуха, аппроксимированные линейным трендом за весь период, последний тридцатилетний и десятилетний периоды, представлены на рис. 1.2.3, а для районов арктических морей — на рис. 1.2.4.

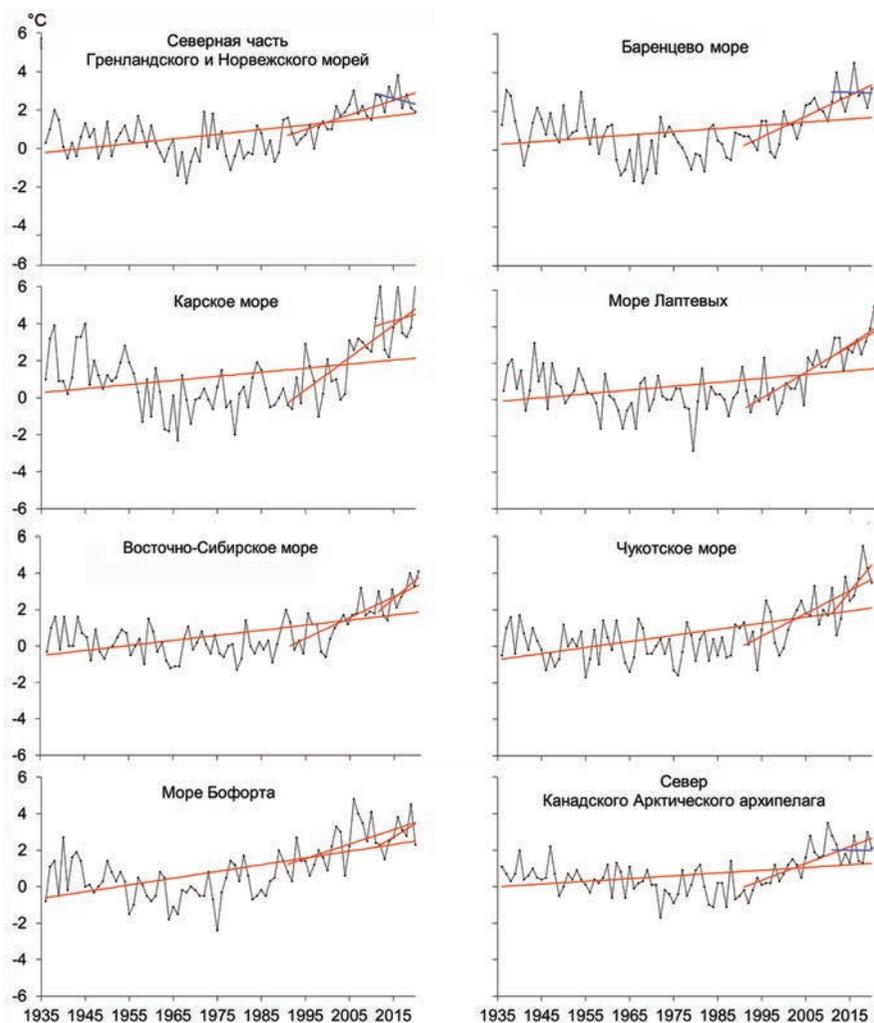


Рис. 1.2.4. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей.

Оценка линейного тренда приведена в табл. 1.2.4 и 1.2.5. В период 1936—2020 гг. наблюдается статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры воздуха для широтных зон 70—85, 60—70° с.ш. и в целом для СПО. Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 85 лет составило 1,96; 1,78 и 1,87 °С соответственно. Для отдельных климатических районов значимый тренд среднегодовой температуры воздуха прослеживается во всех районах. Потепление за 85 лет составляет в отдельных районах от 1,36 до 2,46 °С.

В средней сезонной температуре воздуха в СПО значимый тренд обнаруживается во всех сезонах. Наибольшее линейное повышение температуры наблюдается в широтной зоне 60—70° с.ш. в весеннем сезоне (2,55 °С за 85 лет). В широтной зоне 70—85° с.ш. значение линейного тренда оказалось меньше (2,21 °С за 85 лет).

**Коэффициент линейного тренда  $Vx$  (°C/10 лет) средней за год температуры воздуха и вклад тренда  $D$  (%) в полную дисперсию в отдельных районах за весь период наблюдений и за последние 30 и 10 лет**

Район, широтная зона	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	$Vx$	$D$								
1936—2020 гг.										
Атлантический	<b>0,23</b>	41,4	<b>0,16</b>	44,6	<b>0,12</b>	47,6	<b>0,12</b>	34,6	<b>0,16</b>	48,4
Североевропейский	0,17	16,9	<b>0,30</b>	46,5	<b>0,11</b>	28,1	0,13	23,1	<b>0,18</b>	37,0
Западно-Сибирский	0,17	15,1	<b>0,38</b>	41,0	<b>0,15</b>	38,5	0,16	21,1	<b>0,22</b>	35,5
Восточно-Сибирский	<b>0,29</b>	36,0	<b>0,38</b>	49,4	<b>0,16</b>	44,4	<b>0,21</b>	29,7	<b>0,26</b>	52,1
Чукотский	<b>0,19</b>	25,6	<b>0,34</b>	47,1	<b>0,21</b>	59,7	<b>0,34</b>	48,9	<b>0,27</b>	58,0
Аляскинский	<b>0,43</b>	47,4	<b>0,32</b>	40,8	<b>0,18</b>	78,4	<b>0,24</b>	36,0	<b>0,29</b>	60,5
Канадский	<b>0,25</b>	34,3	0,10	19,0	<b>0,13</b>	44,7	<b>0,21</b>	41,6	<b>0,17</b>	44,9
70—85°с.ш.	<b>0,24</b>	37,5	<b>0,30</b>	54,9	<b>0,14</b>	55,3	<b>0,24</b>	41,8	<b>0,23</b>	52,1
60—70°с.ш.	<b>0,25</b>	47,6	<b>0,26</b>	57,0	<b>0,15</b>	61,8	<b>0,16</b>	42,9	<b>0,21</b>	62,0
60—85°с.ш.	<b>0,25</b>	47,5	<b>0,28</b>	57,4	<b>0,15</b>	62,3	<b>0,20</b>	45,2	<b>0,22</b>	58,7
1991—2020 гг.										
Атлантический	<b>0,90</b>	67,8	<b>0,38</b>	44,4	<b>0,37</b>	58,2	<b>0,63</b>	75,4	<b>0,57</b>	76,0
Североевропейский	<b>0,94</b>	39,2	<b>0,75</b>	46,0	<b>0,48</b>	52,3	<b>1,10</b>	63,4	<b>0,82</b>	69,7
Западно-Сибирский	<b>1,81</b>	55,4	<b>1,26</b>	47,7	<b>0,63</b>	55,1	<b>1,41</b>	60,0	<b>1,28</b>	68,8
Восточно-Сибирский	<b>0,77</b>	38,4	<b>1,48</b>	70,0	<b>0,61</b>	57,1	<b>1,22</b>	64,9	<b>1,02</b>	79,4
Чукотский	<b>1,31</b>	55,5	<b>1,15</b>	58,5	<b>0,47</b>	49,3	<b>1,29</b>	66,7	<b>1,06</b>	76,7
Аляскинский	<b>1,04</b>	44,4	0,61	31,9	<b>0,23</b>	26,5	<b>1,20</b>	66,8	<b>0,77</b>	61,7
Канадский	<b>1,13</b>	60,9	<b>0,53</b>	36,2	<b>0,53</b>	60,8	<b>0,57</b>	46,1	<b>0,69</b>	63,3
70—85°с.ш.	<b>1,63</b>	82,6	<b>1,03</b>	75,0	<b>0,51</b>	74,3	<b>1,38</b>	88,0	<b>1,14</b>	91,6
60—70°с.ш.	<b>0,72</b>	56,1	<b>0,75</b>	63,3	<b>0,43</b>	70,9	<b>0,40</b>	56,1	<b>0,58</b>	79,7
60—85°с.ш.	<b>1,13</b>	78,4	<b>0,85</b>	69,6	<b>0,47</b>	75,7	<b>1,05</b>	84,3	<b>0,88</b>	86,9
2011—2020 гг.										
Атлантический	-0,56	25,7	-0,08	5,0	-0,07	04,8	-0,85	4,5	-0,39	14,6
Североевропейский	3,41	57,9	-0,41	8,2	-0,17	05,4	-0,13	4,1	0,68	31,9
Западно-Сибирский	3,42	38,9	-0,17	2,2	0,84	23,9	1,39	26,7	1,37	29,2
Восточно-Сибирский	3,64	62,1	0,93	17,4	0,94	34,3	2,79	56,1	<b>2,08</b>	69,7
Чукотский	2,25	30,7	2,55	49,6	1,39	60,7	<b>3,52</b>	73,2	<b>2,43</b>	72,4
Аляскинский	2,35	29,0	<b>4,50</b>	64,1	0,61	29,3	<b>2,18</b>	83,4	2,41	53,3
Канадский	-1,19	31,8	1,18	44,8	-0,47	20,1	0,14	4,4	-0,09	4,0
70—85°с.ш.	0,85	22,7	0,61	22,8	0,18	10,1	1,76	61,3	0,85	59,8
60—70°с.ш.	<b>2,62</b>	70,0	1,52	44,1	0,69	53,0	-0,41	20,6	1,11	76,8
60—85°с.ш.	1,90	56,6	1,16	36,4	0,42	33,3	1,35	58,9	1,21	62,4

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

В целом по СПО линейное по тренду повышение температуры воздуха в весеннем сезоне составило 2,38 °C за 85 лет.

В отдельных климатических районах более высокие значения линейного тренда отмечаются преимущественно в евразийском и притихоокеанском секторах. Так, в зимнем сезоне в Аляскинском районе значение линейного тренда составило 3,66 °C за 85 лет. В весеннем сезоне в Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском районах наблюдается тренд, равный 3,23 °C за 85 лет. В летнем сезоне в Чукотском и Аляскинском районах значение линейного тренда составило 1,78 и 1,53 °C за 85 лет соответственно.

**Коэффициент линейного тренда  $V_x$  ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) средней за сезон и за год температуры воздуха в районах арктических морей и вклад тренда в полную дисперсию  $D$  (%) за весь период наблюдений и за последние 30 и 10 лет**

Море, часть моря	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	$V_x$	$D$	$V_x$	$D$	$V_x$	$D$	$V_x$	$D$	$V_x$	$D$
1936—2020 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	<b>0,32</b>	37,5	<b>0,26</b>	49,1	<b>0,19</b>	62,2	<b>0,20</b>	38,2	<b>0,24</b>	53,0
Баренцево море	0,12	11,6	<b>0,27</b>	40,7	<b>0,11</b>	31,1	<b>0,16</b>	27,2	<b>0,17</b>	31,3
Карское море	0,15	11,5	<b>0,38</b>	39,6	<b>0,12</b>	32,5	0,23	24,2	<b>0,22</b>	30,3
Море Лаптевых	0,15	19,0	<b>0,33</b>	42,1	<b>0,14</b>	36,8	0,22	25,7	0,21	37,8
Восточно-Сибирское море	<b>0,25</b>	37,5	<b>0,33</b>	44,7	<b>0,20</b>	50,6	<b>0,33</b>	43,0	<b>0,28</b>	0,28
Чукотское море	<b>0,37</b>	39,0	<b>0,38</b>	44,2	<b>0,22</b>	76,3	<b>0,36</b>	49,5	<b>0,33</b>	0,33
Море Бофорта	<b>0,50</b>	56,4	<b>0,28</b>	45,2	<b>0,13</b>	41,2	<b>0,33</b>	48,3	<b>0,31</b>	0,37
Северная часть Канадского района	<b>0,18</b>	23,1	0,11	18,4	<b>0,08</b>	24,2	<b>0,22</b>	41,0	<b>0,15</b>	36,5
1991—2020 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	<b>1,42</b>	65,3	<b>0,40</b>	32,2	<b>0,36</b>	51,4	<b>0,86</b>	74,2	<b>0,76</b>	74,3
Баренцево море	<b>1,52</b>	61,2	<b>0,85</b>	50,4	<b>0,53</b>	54,0	<b>1,36</b>	78,4	<b>1,07</b>	79,5
Карское море	<b>2,71</b>	69,0	<b>1,47</b>	53,4	<b>0,69</b>	63,3	<b>2,07</b>	72,2	<b>1,74</b>	78,1
Море Лаптевых	<b>1,44</b>	66,7	<b>1,59</b>	70,9	<b>0,72</b>	58,6	<b>1,94</b>	77,7	<b>1,42</b>	84,0
Восточно-Сибирское море	<b>1,25</b>	63,4	<b>1,27</b>	65,7	<b>0,57</b>	52,0	<b>1,48</b>	67,7	<b>1,14</b>	81,1
Чукотское море	<b>1,89</b>	65,2	<b>1,07</b>	46,8	<b>0,48</b>	44,5	<b>1,63</b>	73,9	<b>1,27</b>	72,9
Море Бофорта	<b>1,32</b>	61,1	<b>0,71</b>	40,8	0,17	18,7	<b>1,47</b>	77,8	<b>0,92</b>	58,2
Северная часть Канадского района	<b>1,42</b>	68,9	<b>0,74</b>	52,3	<b>0,61</b>	51,9	<b>0,78</b>	57,1	<b>0,89</b>	75,9
2011—2020 гг.										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	-1,70	37,0	-0,29	12,5	-0,54	28,4	0,22	9,8	-0,58	29,4
Баренцево море	0,42	7,4	-1,14	25,6	0,18	05,8	-0,02	0,00	-0,14	1,9
Карское море	1,89	21,4	-1,41	20,1	0,81	21,9	1,62	25,0	0,73	14,4
Море Лаптевых	1,88	38,6	0,47	9,3	0,73	23,5	3,32	55,2	1,60	52,6
Восточно-Сибирское море	1,70	29,6	1,44	30,0	<b>1,41</b>	64,2	<b>3,65</b>	73,3	2,05	70,6
Чукотское море	2,39	26,3	<b>4,22</b>	66,1	<b>1,56</b>	67,2	<b>3,61</b>	67,2	<b>2,95</b>	64,0
Море Бофорта	2,47	35,8	3,94	71,4	<b>-1,92</b>	65,2	1,36	48,4	1,46	51,9
Северная часть Канадского района	-1,63	36,4	1,08	35,9	-0,65	16,8	0,99	22,6	-0,05	1,6

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

В течение последних тридцати лет (1991—2020 гг.) температура повышалась во всех районах СПО. В целом для СПО линейное повышение среднегодовой температуры за 30 лет составило около 2,64  $^{\circ}\text{C}$ . В широтной зоне к северу от параллели 70° с.ш. продолжает сохраняться более высокая скорость потепления (1,14  $^{\circ}\text{C}/10$  лет по сравнению с 0,58  $^{\circ}\text{C}/10$  лет к югу от параллели 70° с.ш.). В основном это происходит за счет более быстрого повышения температуры в зимнем и осеннем сезонах к северу от параллели 70° с.ш. (1,63 и 1,38  $^{\circ}\text{C}/10$  лет соответственно).

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

В районах арктических морей в период 1936—2020 гг. в зимнем сезоне повышение температуры воздуха отмечается, прежде всего, в районах морей Чукотского и Бофорта. Значения линейного тренда там составляют 3,14 и 4,25 °С за 85 лет соответственно. В весеннем и летнем сезоне повсюду за исключением северной части Канадского района в весеннем сезоне обнаруживается статистически значимый линейный тренд. Наиболее высокими темпами повышение температуры воздуха происходит в районах морей евразийского сектора. Линейное повышение температуры воздуха весной в районах Карского и Чукотского морей составило около 3 °С за 85 лет.

В последнем 30-летнем периоде статистически значимый (на 5 %-ном уровне значимости) линейный тренд среднегодовой температуры воздуха прослеживается во всех районах арктических морей. Потепление на акватории арктических морей за эти тридцать лет составило от 2,28 °С (северная часть Гренландского и Норвежского морей) до 5,22 °С (Карское море).

#### *Атмосферные осадки*

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

В табл. 1.2.6 представлены относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2019/20 г. для СПО и для отдельных климатических районов. В целом по региону годовая сумма осадков была около нормы. Сумма осадков за холодный сезон была выше нормы (на 4,9 %), главным образом, за счет большего количества осадков в Северо-европейском, Западно-Сибирском и Аляскинском районах. При этом значительное превышение нормы имело место к северу от параллели 70° с.ш. В теплом сезоне повсюду, кроме Северо-европейского района, отмечается выпадение осадков ниже нормы.

На рис. 1.2.5 приведены временные ряды годовых сумм осадков для районов арктических морей. В табл. 1.2.7 представлены оценки трендов сезонных и годовых сумм осадков с 1936 по 2020 г. для северных (70—85° с.ш.) и южных (60—70° с.ш.) частей климатических районов, а также для районов в целом.

Таблица 1.2.6

**Относительные аномалии (%) сезонных и годовых сумм осадков в 2019/20 г.**

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

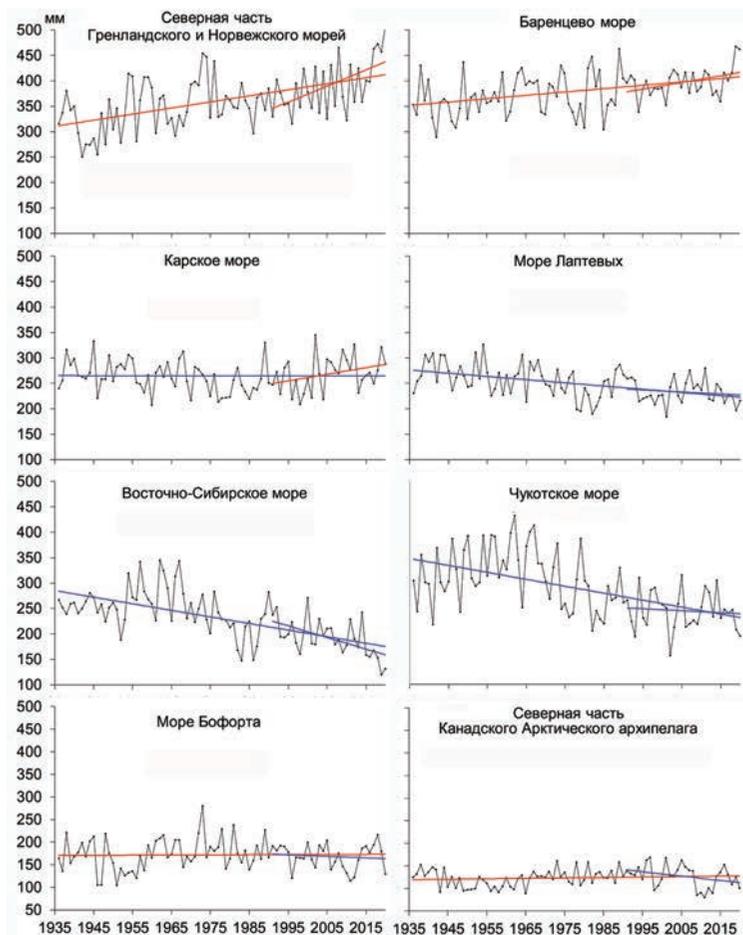


Рис. 1.2.5. Временные ряды годовых сумм осадков.

В межгодовых изменениях суммы годовых осадков за период 1936—2020 гг. в СПО наблюдается сохранение тенденции статистически значимого увеличения. Годовая сумма осадков за 85 лет возросла на 5,5 % по сравнению с нормой за 1961—1990 гг. Однако весь рост суммы осадков в СПО обеспечен ее устойчивым увеличением в широтной зоне к югу от параллели 70° с.ш. (на 10,4 % от нормы). Здесь, в южных частях Североевропейского и Западно-Сибирского районов, а также в южной части Канадского Арктического архипелага увеличение годовой суммы осадков составило от 5 до 29 % нормы.

В районах арктических морей сохраняется тенденция статистически значимого уменьшения годовой суммы осадков на акватории морей азиатского сектора СПО (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское). Уменьшение годовой суммы осадков за весь период составляет от 22 % нормы за период 1961—1990 гг. (район моря Лаптевых) до 47 % (район Восточно-Сибирского моря).

В теплый сезон количество осадков в СПО за период 1936—2020 гг. уменьшилось в целом по региону на 3 %. К северу от параллели 70° с.ш. уменьшение соста-

Таблица 1.2.7

**Коэффициент линейного тренда  $Bx$  (мм/10 лет) средней за сезон и за год суммы осадков и вклад тренда в полную дисперсию  $D$  (%) за весь период наблюдений (1936—2020 гг.)**

Район, широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	$Bx$	$D$	$Bx$	$D$	$Bx$	$D$
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	3,97	4,0	-0,96	-2,2	3,01	5,1
Североевропейский (южная часть)	<b>14,46</b>	40,5	2,76	9,5	17,22	28,7
Западно-Сибирский (южная часть)	<b>9,53</b>	30,0	-0,85	-2,9	8,68	16,9
Восточно-Сибирский (южная часть)	<b>2,49</b>	14,2	-0,65	-3,2	1,84	5,2
Чукотский (южная часть)	0,15	0,6	-0,36	-1,9	-0,21	-0,2
Аляскинский (южная часть)	<b>4,14</b>	20,7	-0,64	-2,8	3,50	7,6
Канадский (южная часть)	-0,67	-4,1	<b>1,97</b>	11,3	1,30	6,1
60—70°с.ш.	<b>5,05</b>	14,3	0,21	0,8	5,26	10,4
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	<b>11,54</b>	41,7	1,30	9,0	<b>12,84</b>	30,4
Баренцево море	<b>7,28</b>	27,4	-0,43	-2,4	6,85	15,3
Карское море	0,55	3,5	-0,64	-4,4	-0,09	-0,3
Море Лаптевых	<b>-2,94</b>	-20,5	<b>-3,49</b>	-23,4	-6,43	-22,0
Восточно-Сибирское море	<b>-7,46</b>	-50,6	<b>-5,95</b>	-43,3	-13,41	-47,1
Чукотское море	<b>-8,92</b>	-43,3	<b>-5,01</b>	-32,8	-13,93	-38,8
Море Бофорта	-0,60	-5,3	1,11	10,6	0,51	2,3
Канадский (северная часть)	0,42	6,0	0,48	6,2	0,90	6,0
70—85°с.ш.	<b>1,96</b>	12,1	-0,82	-6,2	1,14	3,9
Атлантический	6,28	8,3	-0,37	-1,1	5,91	5,4
Североевропейский	<b>11,56</b>	35,9	1,26	5,1	12,82	22,5
Западно-Сибирский	<b>5,75</b>	23,1	-0,94	-4,1	4,81	10,0
Восточно-Сибирский	0,41	2,5	-1,50	-8,2	-1,09	-3,1
Чукотский	<b>-2,85</b>	-12,7	-2,17	-12,3	-5,02	-12,6
Аляскинский	2,22	12,7	-1,81	-8,8	0,41	1,1
Канадский	-0,25	-1,9	<b>1,33</b>	9,6	1,08	4,1
60—85°с.ш.	<b>3,36</b>	11,7	-0,58	-2,7	2,78	5,5

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

вило 6 %, и лишь к югу от нее наблюдается небольшое увеличение суммы осадков (от 10 до 11 % от нормы) за счет южных частей Североевропейского и Канадского районов. В целом по СПО в холодный сезон количество осадков возросло на 11 % в основном за счет широтной зоны 60—70° с.ш. (здесь прирост составил 14 %, а к северу от параллели 70° с.ш. — только 12 %). На всей же территории СПО количество осадков в холодный период года уменьшилось лишь в Чукотском районе (на 13 %).

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

### ВВЕДЕНИЕ

Оценки развития ледовых условий в 2020 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, по данным экспедиционных исследований, проводимых в ААНИИ и на НИС «Ледовая база Мыс Баранова», а также при осуществлении ряда международных проектов.

Оценка квантилей распределения общей сплоченности 5 и 50 % (медиана) выполнена на основе совмещенного месячного массива ледовых карт проекта ВМО «Глобальный банк цифровых данных по морскому льду» за 1945—2004 гг. (включает данные ААНИИ за 1945—1992 гг., Балтийских ледовых служб за 1960—1979 гг., Национального ледового центра США за 1972—2004 гг., Канадской ледовой службы за 1968—1998 гг. и Японского метеорологического агентства за 1970—2006 гг.). Расчет среднемесячных значений общей сплоченности для 2020 г. выполнен на основе массива ежедневных распределений оценки общей сплоченности по алгоритму NASATEAM из архива Национального центра данных США по снегу и льду.

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

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

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

Для расчета аномалий ледовых параметров, включающих в себя оценки состояния припайного льда (толщина и взлом припая) и основные фазы весенних и осенних ледовых явлений (сроки очищения, сроки ледообразования), использовались нормы, рассчитанные для каждой полярной станции с момента начала наблюдений на этой станции по 2020 г. (длина рядов для расчета средних многолетних значений в среднем составляет 55—60 лет).

Для расчета аномалий площади льда в СЛО и его морях, аномалий интенсивности сокращения и нарастания льда в различные периоды года используются нормы, рас-

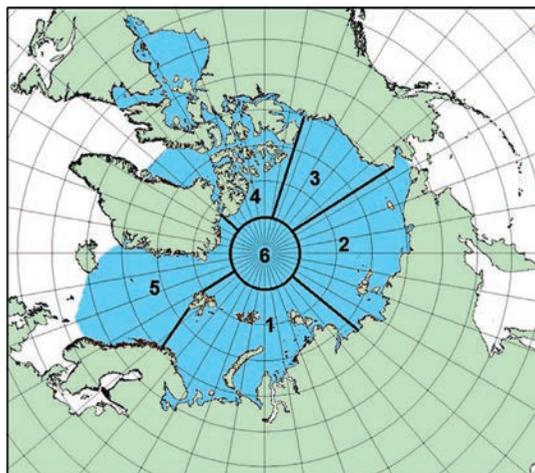


Рис. 2.В.1. Квазиоднородные районы Северного Ледовитого океана.

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

считанные за весь доступный период микроволновых наблюдений за морским льдом в Северном полушарии с 1978 по 2019 г. На рис. 2.В.1 показаны положение и границы квазиоднородных районов, по которым проводится описание развития ледовых условий.

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

В предшествующий осенний период 2019 г. ледообразование началось позже средних многолетних сроков. В центральной части СЛО и в проливах Канадского Арктического архипелага начальные льды появились в начале сентября.

В начале октября молодые льды узкой полосой, шириной 50 — 100 км, наблюдались в прикромочной зоне массива остаточных льдов СЛО. В середине октября волна ледообразования подошла к северной границе арктических морей.

Во второй половине октября ледообразование началось в прибрежных районах морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского. Остальные окраинные моря — Гренландское, Баренцево, Чукотское, западная часть Бофорта — оставались свободными ото льда. Среди массива старых льдов в СЛО в третьей декаде октября начал наблюдаться переход молодых льдов в возрастную градацию однолетних тонких.

В ноябре интенсивность ледообразования и увеличения площади льда значительно возросла. Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины октября по середину ноября, было экстремально большим за весь период наблюдений (1978—2019 гг.) и составило 3,5 млн км<sup>2</sup>, что на 59 % превысило среднее многолетнее значение по длинному ряду наблюдений (норма 2,2 млн км<sup>2</sup>).

В декабре процесс увеличения площади ледяного покрова был, как и в ноябре, очень интенсивен. В середине декабря на акватории северной части Баренцева моря, юго-западной части Карского и Чукотского морей наблюдались молодые льды. На акватории остальных арктических морей, начиная с северо-восточной части Карского моря и далее на восток, наблюдалось преобладание однолетнего тонкого льда (диапазон толщины 30—70 см). В северных частях морей стали появляться однолетние средние льды (диапазон толщины 70—120). Основная масса старых льдов в СЛО была смещена в приполюсный район, в гренландский и канадский секторы Арктики.

В конце декабря 2019 г. общая площадь льдов в СЛО приблизилась к своему среднему многолетнему значению и составляла, по оценкам специалистов ААНИИ, около 11,0 млн км<sup>2</sup> при норме 11,4 млн км<sup>2</sup>, т. е. была на 3,5 % меньше средних многолетних значений.

Таким образом, в осенний период 2019 г. при позднем начале ледообразования отмечалась большая интенсивность развития ледяного покрова. Наблюдалось интенсивное увеличение площади распространения льдов (на 27 % больше нормы), притом что толщина льда увеличивалась медленнее по сравнению с нормой. Осенние процессы нарастания ледяного покрова привели к существенному уменьшению отрицательной аномалии площади льда (до -3,5 %), которая в середине сентября, на момент максимального сокращения ледяного покрова, составляла -29 %.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период январь — март 2020 г. приведены рис. 2.1.1 — 2.1.9.

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

Сочетание позднего начала ледообразования в осенний период с высокой интенсивностью его распространения привело к быстрому увеличению площади ледя-

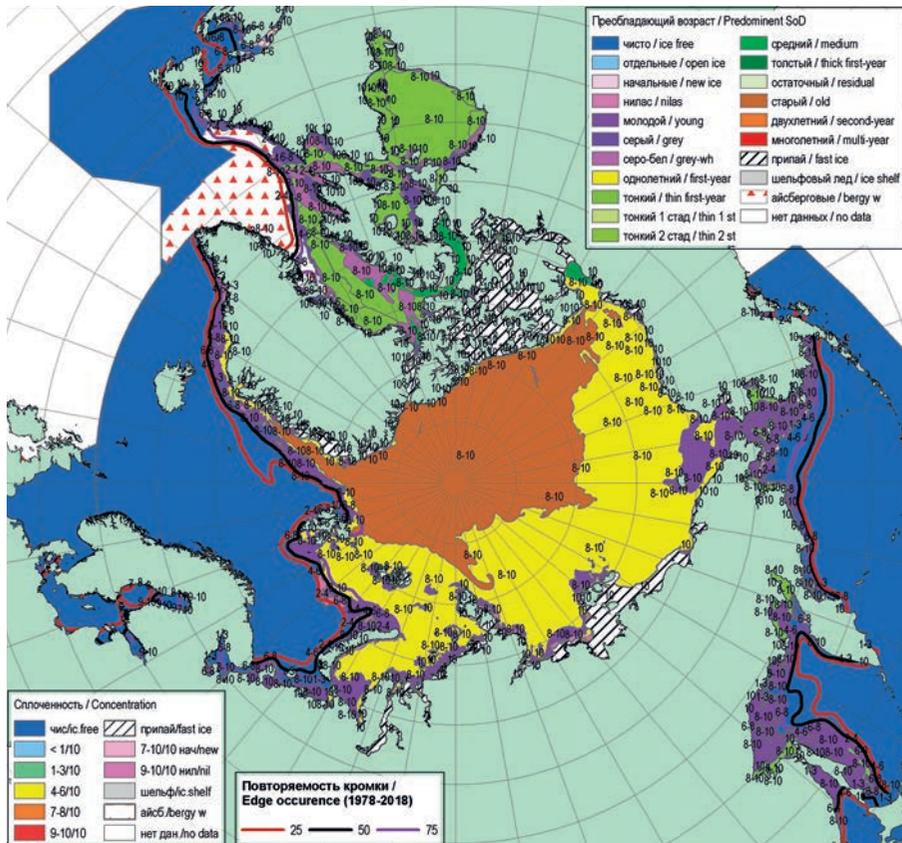


Рис. 2.1.1. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 17—20 января 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

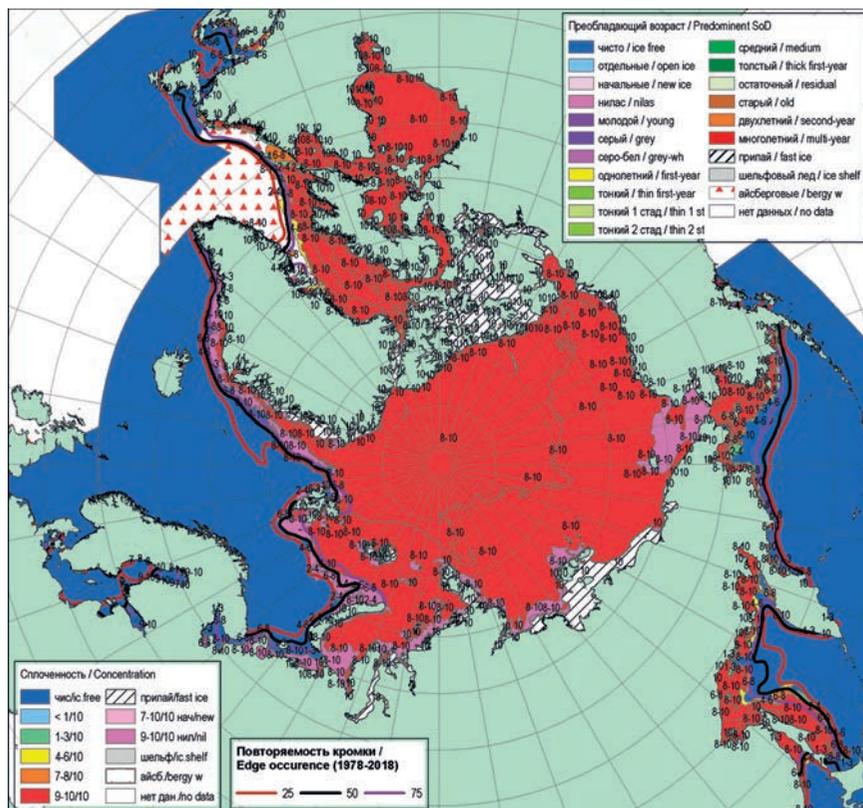


Рис. 2.1.2. Обзорная ледовая карта СЛЮ по сплоченности льда за 17—20 января 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

ного покрова, но медленному его нарастанию по толщине. В январе все арктические моря были покрыты дрейфующими и припайными льдами. В середине января в Баренцевом, Карском и Чукотском морях преобладали молодые и однолетние тонкие льды (диапазон толщины 30—70 см). Только в центральных морях российской Арктики — Лаптевых и Восточно-Сибирском — уже наблюдалось преобладание однолетних средних льдов (диапазон толщины 70—120 см).

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

Основной массив старых льдов наблюдался в приполюсном районе, гренландском и канадском секторах Арктики. Протяженный отрог двухлетних льдов наблюдался в северо-западной части моря Лаптевых.

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

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

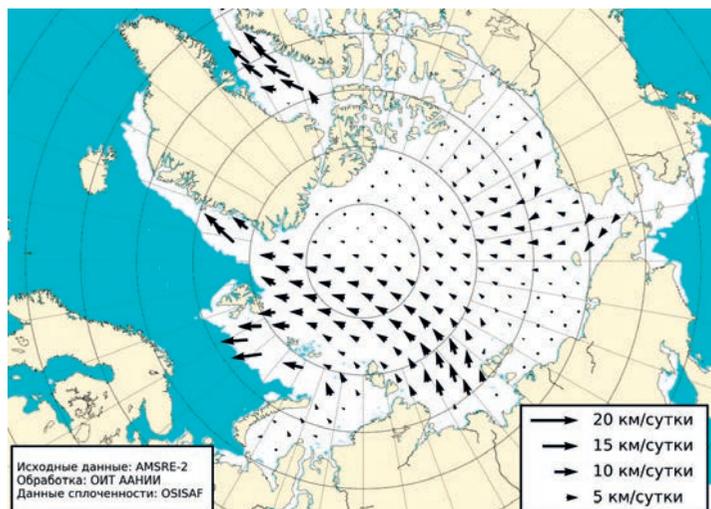


Рис. 2.1.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в январе 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

В январе была хорошо развита только одна из двух постоянных структур дрейфа льда — Трансарктический перенос льда. Канадский антициклонический круговорот был развит крайне слабо.

Трансарктический перенос льдов брал свое начало из северной части моря Лаптевых. Стрежень потока был несколько смещен к западу от своего обычного положения. Поток льдов проходил через приполюсный район. Далее основная часть потока льда выносилась в пролив Фрама. Небольшая часть потока выносилась между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Шпицберген (рис. 2.1.3).

В феврале наблюдались дальнейшее развитие ледяного покрова и увеличение толщины льда. В СЛО преобладали однолетние средние льды (диапазон толщины 70—120 см) и однолетние тонкие льды. Появления ледовых зон с преобладанием однолетних толстых льдов не наблюдалось, что не характерно для февраля. В среднем в феврале количество однолетних толстых льдов обычно составляет около половины площади всех однолетних льдов осеннего образования. Это свидетельствует о малой интенсивности нарастания льда по толщине по всему океану.

В окраинных морях преобладали однолетние средние и тонкие льды, а в Баренцевом море — однолетние тонкие и молодые льды. Язык двухлетних льдов сохранялся в северо-западной части моря Лаптевых. Основной массив старых льдов в СЛО был смещен в гренландский и канадский секторы Арктики и в приполюсный район.

Припай во всех арктических морях был развит меньше, чем в среднем многолетнем. Отсутствовал припай в проливе Вилькицкого и на восточных подходах к нему со стороны моря Лаптевых. Наблюдался хорошо развитый припай в районе Новосибирских островов и в районе островов Канадского Арктического архипелага.

Заприпайные полыньи наблюдались в морях западного района российского сектора Арктики (в Карском море и в западной части моря Лаптевых). В остальных морях развитие заприпайных полыней было незначительным (рис 2.1.4).

Поле сплоченности льда было достаточно однородным. На акватории СЛО и его морей преобладали сплоченные льды (сплоченность 9—10 баллов). Граница дрейфу-

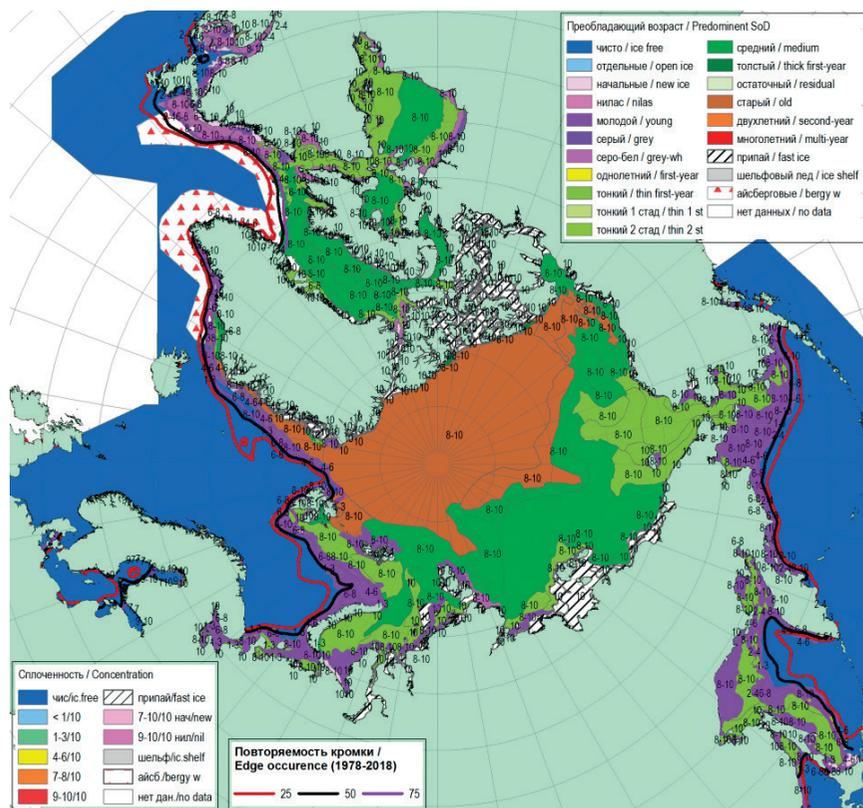


Рис. 2.1.4. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 13—18 февраля 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

ющих льдов в западном районе Арктики, в Гренландском и Баренцевом морях, была близка к своему среднему многолетнему положению для февраля (рис. 2.1.5).

В феврале поле дрейфа практически не изменилось по сравнению с январем. Сохранялся хорошо развитый Трансарктический перенос льда. Ширина потока даже несколько увеличилась по сравнению с январем. Трансарктический перенос льда начинался от северных границ морей Карского, Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря, проходил через приполюсный район и далее выносился в пролив Фрама. Скорость дрейфа льда в Трансарктическом переносе увеличилась вдвое по сравнению с январем и составляла в среднем около 10 км/сут.

Канадский антициклонический круговорот был развит крайне слабо и наблюдался в виде плохо выраженного круговорота с небольшой скоростью дрейфа льда (рис. 2.1.6).

В марте наблюдались дальнейшие нарастание и развитие ледяного покрова, но интенсивность этих процессов была низкой. Об этом свидетельствуют медленное распространение однолетних толстых льдов в арктических морях и более медленное по сравнению с нормой увеличение толщины льда на полярных станциях.

Зона однолетних толстых льдов наблюдалась южнее массива старых льдов в виде неширокой полосы (100—150 км) и в восточной части моря Бофорта. В российских арктических морях однолетних толстых льдов не наблюдалось. Подобная ситуация, когда в российских арктических морях в марте еще не появились однолетние толстые льды, является крайне необычной. Это свидетельствует о слабом разви-

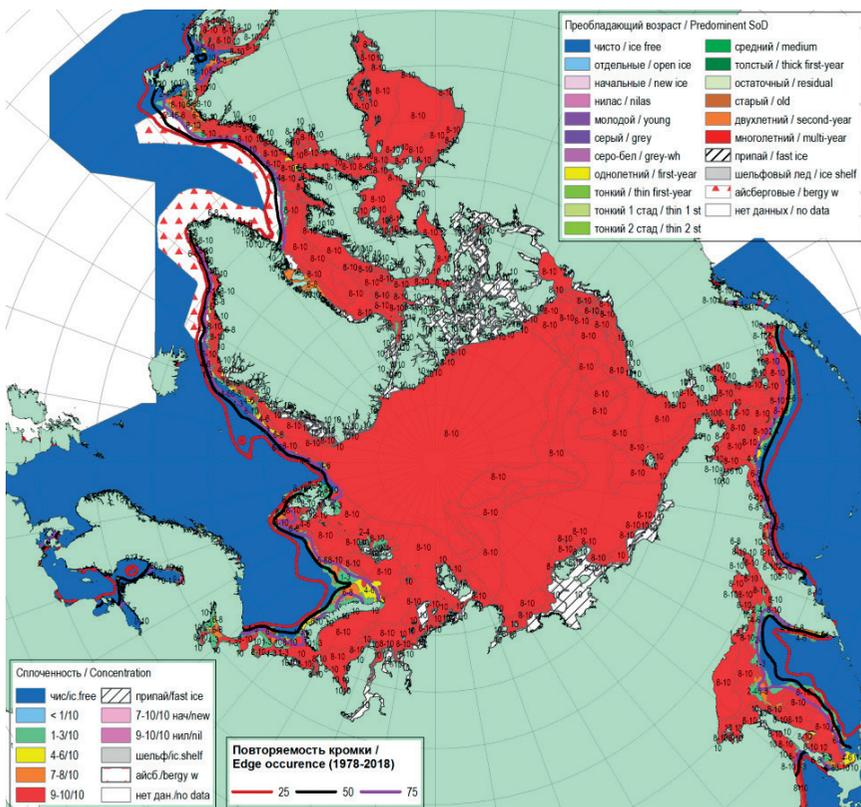


Рис. 2.1.5. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 13—18 февраля 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

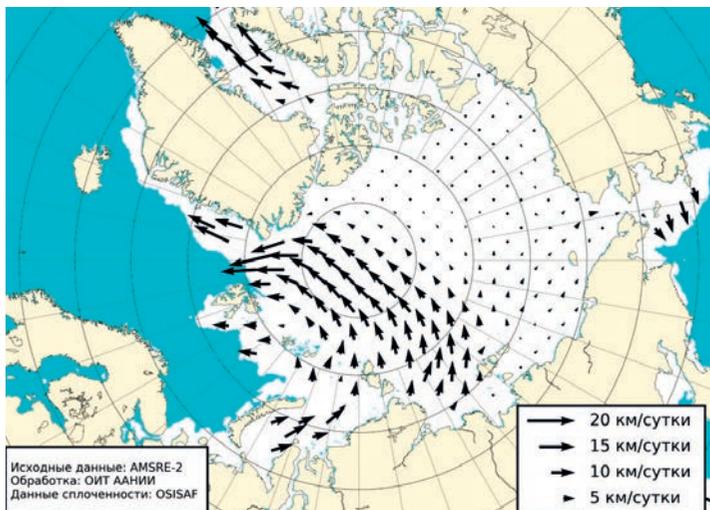


Рис. 2.1.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в феврале 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

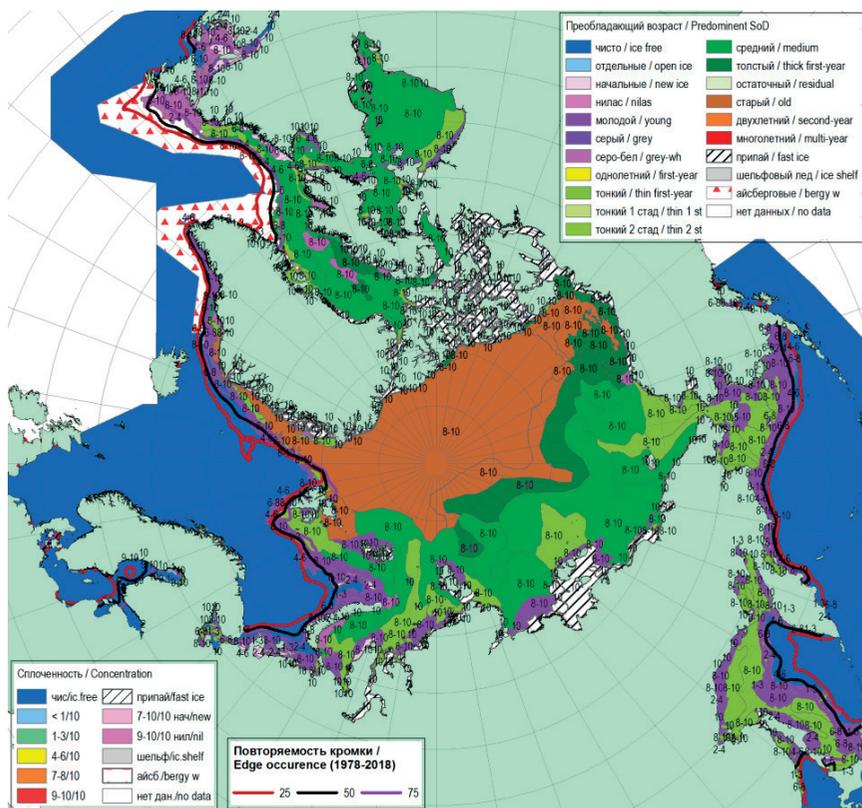


Рис. 2.1.7. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 13—17 марта 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

тии ледяного покрова по толщине. В возрастном составе во всех морях российского сектора Арктики по-прежнему преобладали льды всех возрастных категорий с преобладанием однолетних средних льдов. Много однолетних тонких льдов и молодых льдов наблюдалось в морях Баренцевом, Карском и Чукотском.

Из-за постоянного выноса льдов из моря Лаптевых не установился припай на восточных подходах к проливу Вилькицкого со стороны моря Лаптевых. В центральной части моря Лаптевых наблюдалось развитие большой устойчивой заприпайной полыньи (рис. 2.1.7).

В поле сплоченности наблюдалась значительная однородность, характерная для холодного периода года, когда любая полынья или разрыв в ледяном покрове сразу покрываются начальными и молодыми льдами. В результате быстрого замерзания пространства чистой воды в холодные месяцы всегда наблюдается лед сплоченностью 9—10 баллов, хотя толщина его может быть различной. Граница дрейфующих льдов в западном районе Арктики, в морях Гренландском и Баренцевом, была близка к своему среднему многолетнему положению в марте (рис. 2.1.8).

В марте сформировалось необычное поле дрейфа ледяного покрова. Поле дрейфа состояло из одной преобладающей структуры — Трансарктического переноса льда. В принципе, такая картина наблюдалась и в предшествующие месяцы — в январе и феврале. Однако Трансарктический перенос льда, наблюдаемый в марте, был значительно обширнее и интенсивнее. Две ветви дрейфа из морей Лаптевых

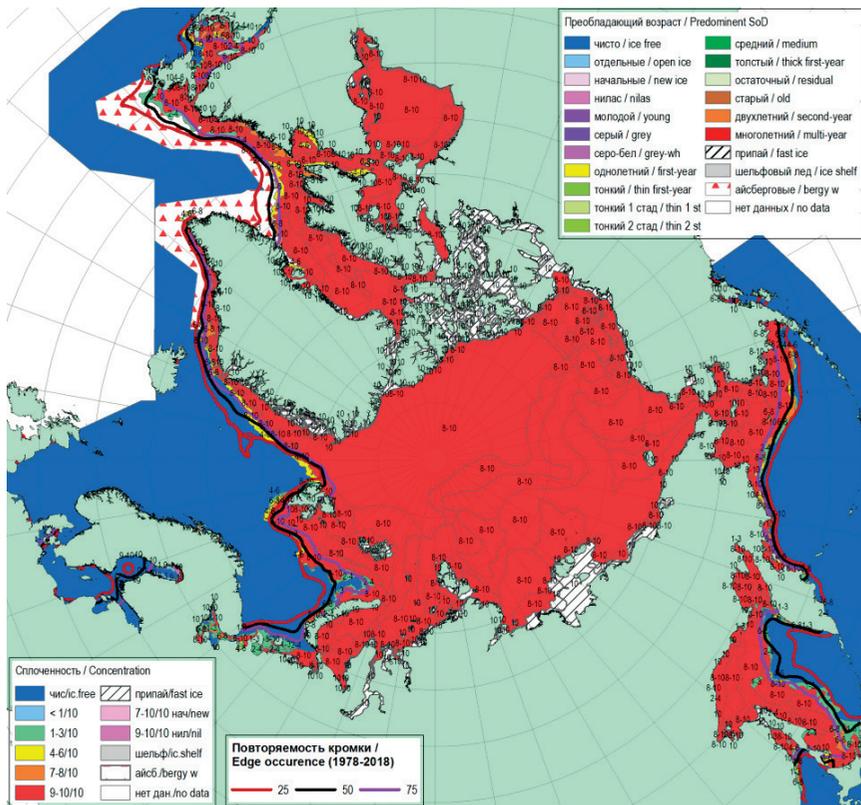


Рис. 2.1.8. Обзорная ледовая карта СЛЮ по сплоченности льда за 13—17 марта 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

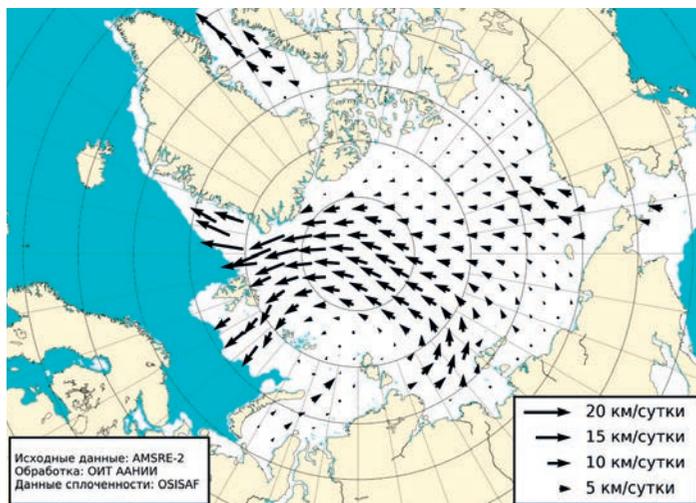


Рис. 2.1.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в марте 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

и Чукотского соединялись в единый поток к северу от архипелага Новосибирские острова. Далее обширный ледовый поток через приполюсный район выносился в пролив Фрама. Скорость выносного дрейфа в проливе Фрама была очень велика и достигала в среднем около 15—20 км/сут. Канадский антициклонический круговорот практически отсутствовал. Результирующее поле среднемесячного дрейфа за март приведено на рис. 2.1.9.

Развитие припая в морях в течение первых зимних месяцев происходило с малой интенсивностью. Площадь припая во всех российских арктических морях была меньше средних многолетних значений. В середине марта суммарная площадь припая в российских арктических морях составила 495 тыс. км<sup>2</sup> при норме 586 тыс. км<sup>2</sup>, т. е. была на 16 % меньше средних многолетних значений. Небольшое развитие припая наблюдалось во всех российских арктических морях, кроме припая в районе Новосибирских островов.

Общее количество льдов в СЛО по оценкам, выполненным в ААНИИ, в конце первого квартала 2020 г. составило 11,86 млн км<sup>2</sup>, что лишь на 1 % меньше среднего многолетнего значения, т. е. оказалось очень близким к норме за длинный ряд наблюдений (с 1978 г.).

Нужно отметить, что если в начале января 2020 г. отрицательная аномалия общего количества льда в СЛО составила 3,5 %, то за первый квартал 2020 г. она сократилась на 2,5 % и составила 1 %. Это свидетельствует о достаточно интенсивном развитии площади льда в СЛО в первом квартале года. Однако возрастной состав льда и его толщина как в морях так и по данным полярных станций были значительно меньше средних многолетних значений.

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

Распределение ледяного покрова по возрастным градациям и по сплоченности, а также поля среднемесячного дрейфа за каждый месяц за период апрель — июнь 2020 г. приведены на рис. 2.2.1 — 2.2.10.

В апреле в большинстве районов окраинных арктических морей наблюдались дальнейшее развитие ледяного покрова и переход однолетних средних льдов в возрастную градацию однолетних толстых льдов. Однако на обширных акваториях Баренцева моря, в юго-западной части Карского и Чукотского морей сохранялось преобладание однолетних средних и тонких льдов. Процесс нарастания льда в весенний период 2020 г. происходил со значительным запаздыванием по сравнению с нормой.

Заприпайные полыньи в арктических морях были развиты слабо. Они отмечались в западной части моря Лаптевых и за припаем Новосибирских островов. 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.

Припай был хорошо развит в районе Новосибирских островов и очень слабо в районе архипелага Северная Земля как со стороны Карского моря, так и со стороны моря Лаптевых, что было обусловлено постоянным выносом льдов из районов этих морей.

Старые льды наблюдались в гренландском и канадском секторах, а также в приполюсном районе Арктики (рис. 2.2.1).

В поле сплоченности ледяного покрова прослеживалась однородность, что весьма характерно для зимних месяцев. В СЛО преобладал сплоченный лед, были отчетливо обозначены заприпайные полыньи. Границы распространения ледяного покрова в западной части Баренцева море, а также в морях Гренландском, Баффина и Лабрадор были близки к среднему многолетнему положению. В северо-восточной

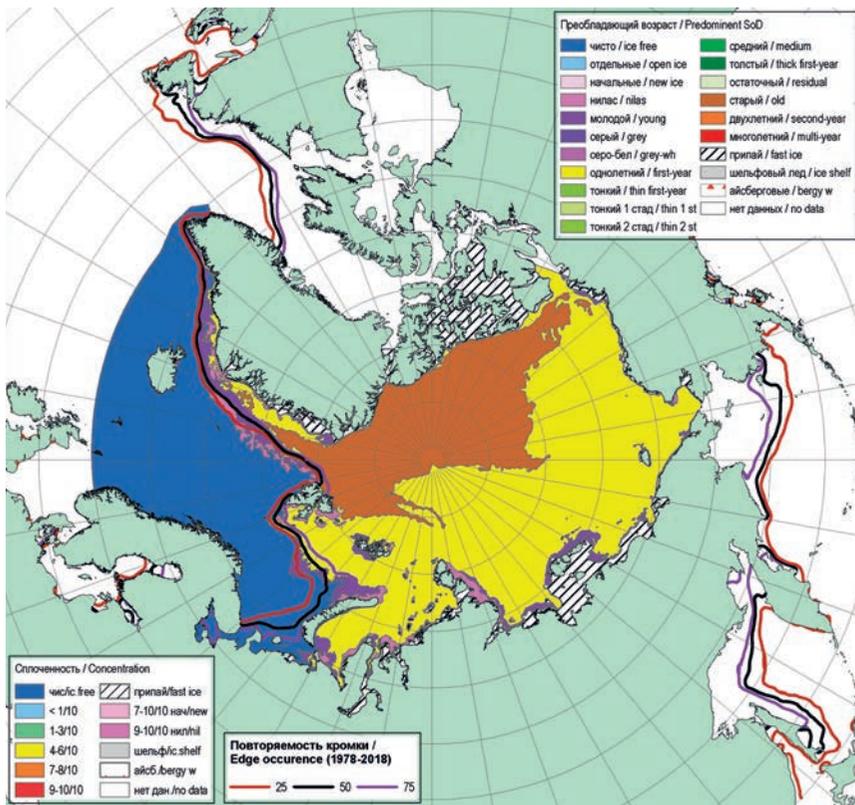


Рис. 2.2.1. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 17—21 апреля 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

и юго-восточной частях Баренцева моря граница дрейфующих льдов была близка к своему экстремально северному положению (рис. 2.2.2).

Основные структуры дрейфа льда в СЛО — Трансарктический перенос льдов и Канадский антициклонический круговорот — полностью отсутствовали. В СЛО сложилась очень необычная картина дрейфа, охватившая всю акваторию океана. Гигантская область пониженного давления обусловила формирование циклонического вихря с центром над приполюсным районом. В результате такого направления дрейфа льды из морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского выносились в море Бофорта, а мощные старые льды из прибрежных районов Канадского Арктического архипелага выносились в пролив Фрама, способствуя, таким образом, разгрузке СЛО от старых льдов (рис. 2.2.3).

В течение мая, который считается периодом максимального развития и накопления ледяного покрова, в структурном составе льдов Северного Ледовитого океана преобладали однолетние льды (преимущественно однолетние толстые и средние), которые составляли около 65 % общего количества льда. Около 30 % общего количества льда составляли старые льды. Остальной лед был представлен молодыми льдами или зонами обширных разрежений, которые начали формироваться в морях западного района российского сектора Арктики. Однолетние льды занимали весь российский сектор Арктики, более половины приполюсного района и аляскинского сектора Арктики. Старые льды наблюдались преимущественно в гренланд-

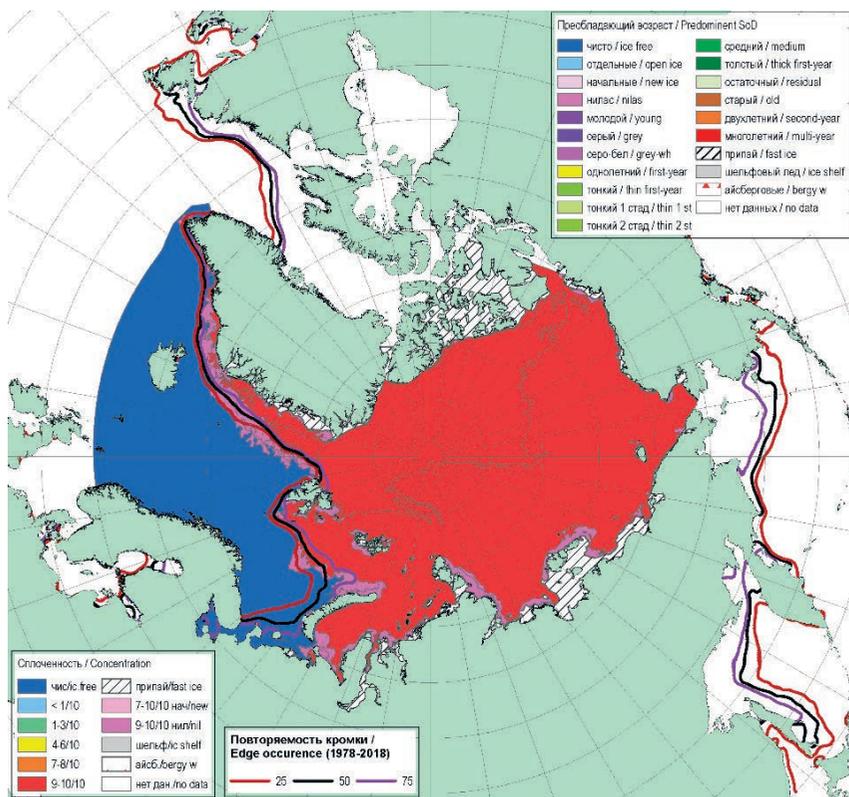


Рис. 2.2.2. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 17—21 апреля 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

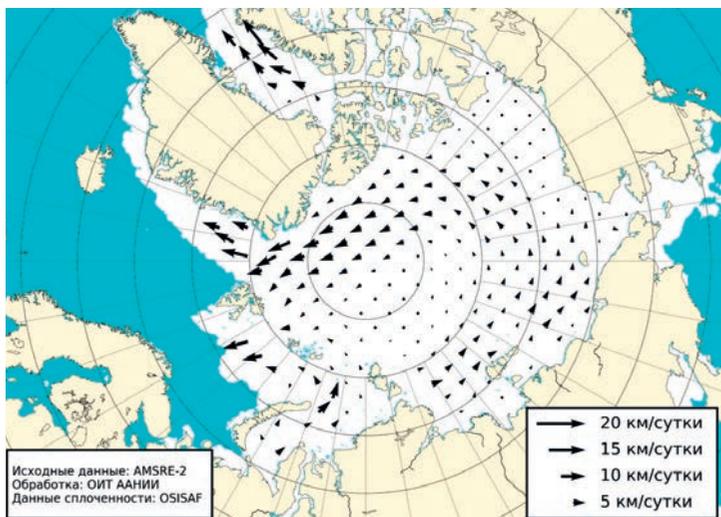


Рис. 2.2.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в апреле 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

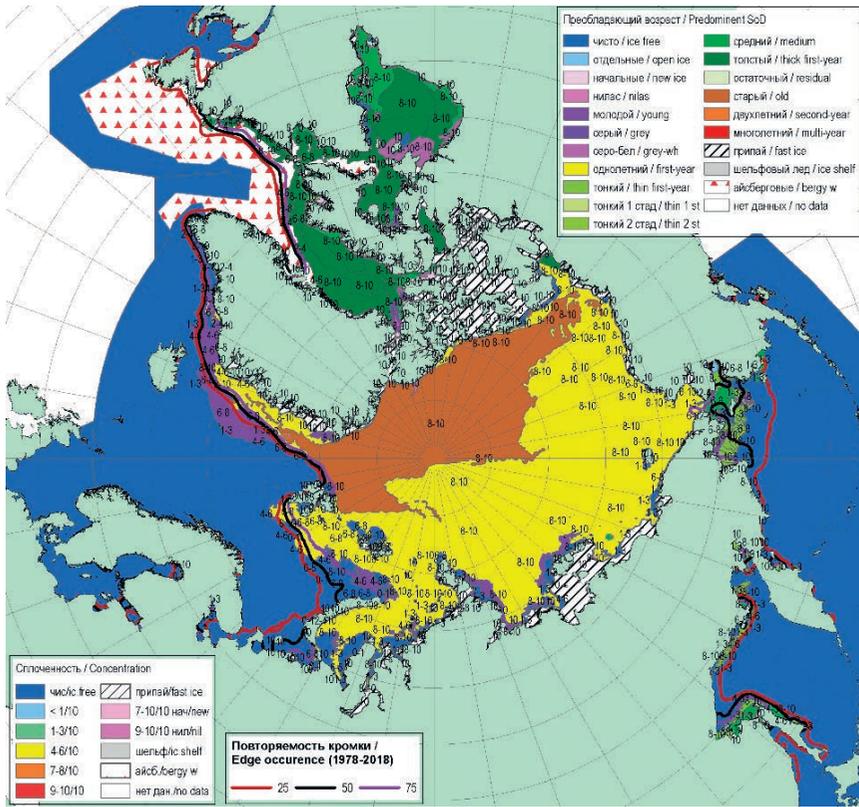


Рис. 2.2.4. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 14—19 мая 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

ском и канадском секторах Арктики. Старые льды из приполюсного района были в значительной степени вытеснены и замещены однолетними льдами (рис. 2.2.4).

Припай в конце периода максимального развития был развит слабо, меньше своего среднего многолетнего значения, во всех окраинных арктических морях. Наиболее обширный припай наблюдался в районе Новосибирских островов и между островами Канадского Арктического архипелага.

В поле сплоченности ледяного покрова хорошо проявились зоны заприпайных полыней и сформировавшихся разрывов в морях Баренцевом, Карском и Лаптевых. Характер и районы развития полыней и разряжений, появившихся в течение мая, показали, что основные очаги очищения начали формироваться в морях западного района российского сектора Арктики (рис. 2.2.5).

В мае в поле дрейфа произошли существенные изменения. Вместо наблюдавшегося в апреле гигантского циклонического вихря вновь сформировались традиционные структуры дрейфа — Трансарктический перенос и Канадский антициклонический круговорот.

Трансарктический перенос льдов начинался в северной части моря Лаптевых; он был значительно смещен к западу по сравнению со средним положением и осуществлял вынос льдов непосредственно в пролив Фрама. Канадский антициклонический круговорот также имел хорошее развитие. Его центр располагался над северной частью моря Бофорта. На периферии круговорота в морях Бофорта,

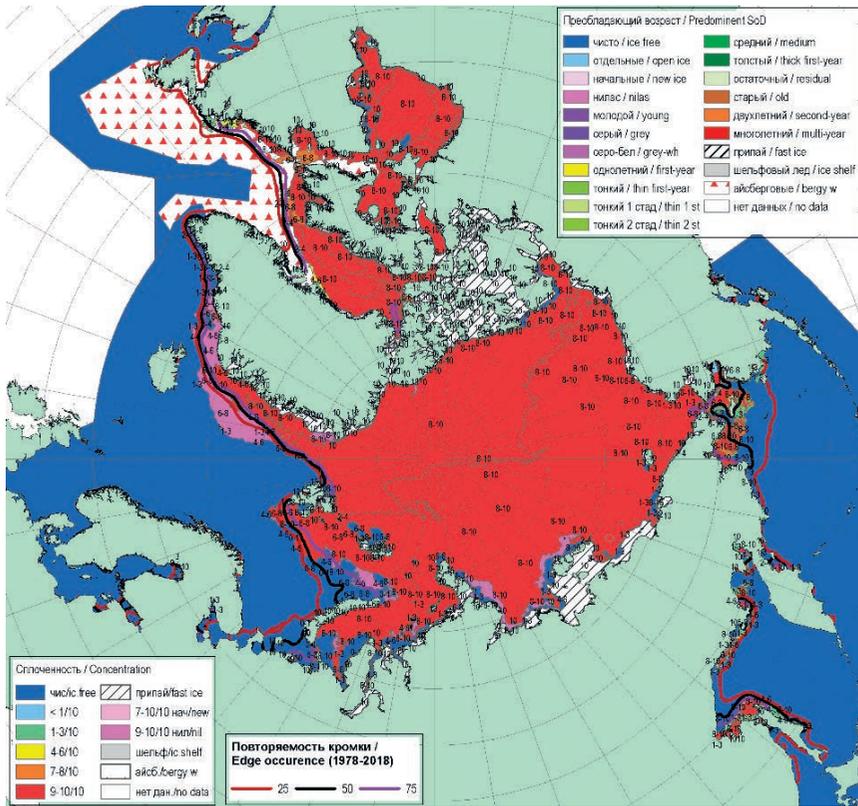


Рис. 2.2.5. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 14—19 мая 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

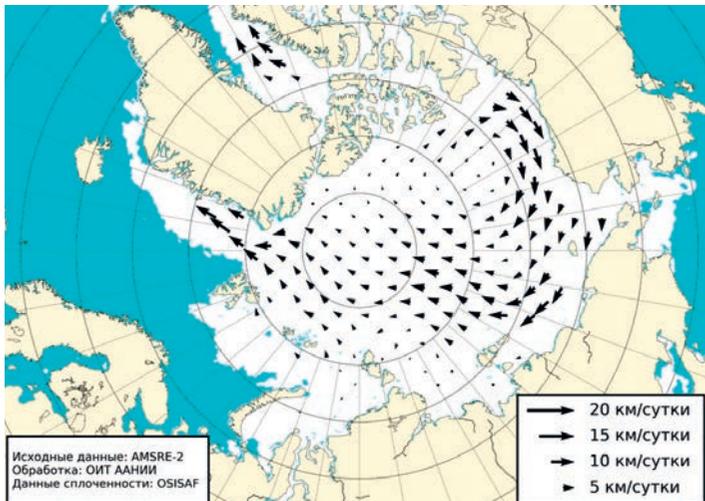


Рис. 2.2.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в мае 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

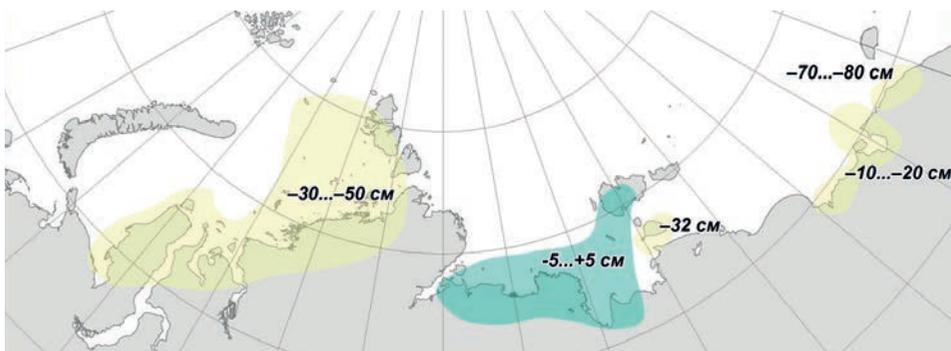


Рис. 2.2.7. Аномалии толщины льда в морях российских секторов Арктики по данным полярных станций на период максимального нарастания льда (конец мая) в 2020 г.

Чукотском и в северной части Восточно-Сибирского моря скорость дрейфа достигала 10 км/сут (рис. 2.2.6).

В весенний период интенсивность нарастания льда была несколько выше нормы в море Лаптевых в восточной части Восточно-Сибирского моря, в результате чего толщина льда приблизилась в этих районах к средним многолетним значениям. Однако в морях западного района российского сектора Арктики отрицательные аномалии толщины льда сохранились и составили  $-30\dots-50$  см. Лед экстремально малой толщины (аномалия  $-70\dots-80$  см) сформировался в юго-западной части Чукотского моря. Распределение аномалии толщины льда по морям в конце периода нарастания льда (середина мая) приведено на рис. 2.2.7.

В июне началось чрезвычайно быстрое очищение окраинных морей западного района российского сектора Арктики — Баренцева, Карского, Лаптевых и юго-западной части Чукотского моря. Значительное разряжение развилось и в прибрежной части моря Бофорта. В этих морях сформировались крупные положительные аномалии ледовитости. В середине июня аномалии ледовитости составили: в Баренцевом море 22 %, в юго-западной части Карского моря 41 %, в западной части моря Лаптевых 33 %, в Чукотском море 12 %. Очищение этих морей было связано в первую очередь с интенсивным дрейфом льда выносного характера, адвекцией тепла в эти районы и развитием процессов таяния и разрушения льда (рис. 2.2.8).

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 около 30 % акватории океана. Однолетние льды, среди которых преобладали однолетние толстые льды, составляли около 60—65 %. Сформировавшиеся в морях разряжения и полыньи вдоль берегов занимали 5—10 % площади акватории океана.

Основными очагами очищения послужили прикромочная зона в северной части Баренцева моря, юго-западная часть Карского моря, западная часть и заприпайный район моря Лаптевых и юго-западная часть Чукотского моря (рис. 2.2.9).

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

Масштабные изменения циркуляции атмосферы привели к формированию традиционных структур дрейфа — обширного Трансарктического переноса льда и менее развитого Канадского антициклонического круговорота. Кроме того, сформировался небольшой антициклонический круговорот над Восточно-Сибирским морем.

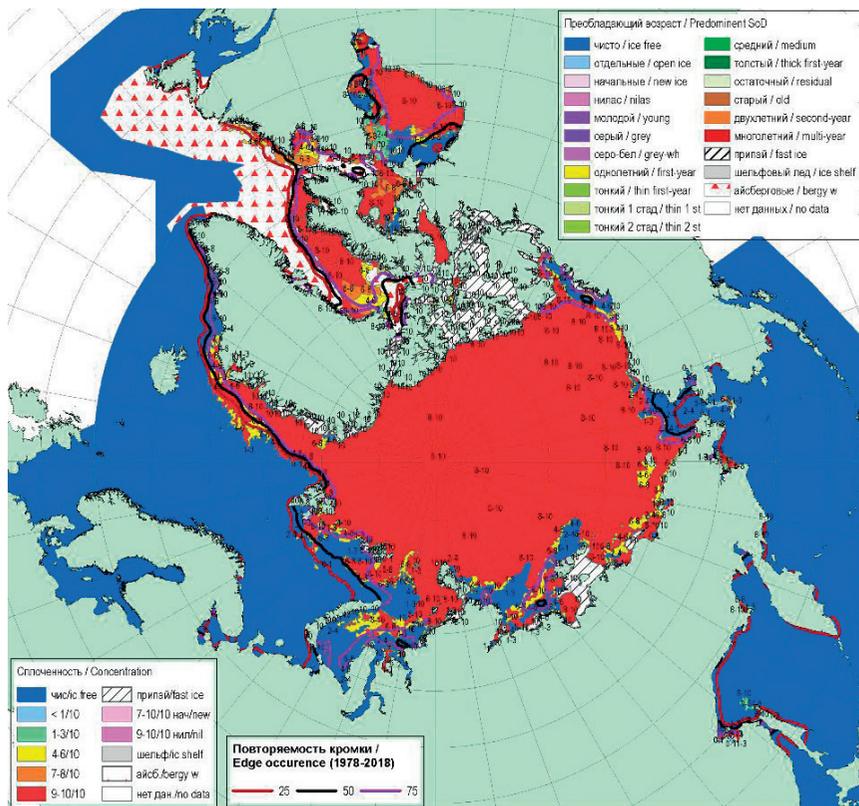


Рис. 2.2.8. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 18—23 июня 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

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

Канадский антициклонический круговорот был менее развит и существовал в виде вихря с центром над морем Бофорта. Интенсивность и скорость дрейфа в Канадском антициклоническом круговороте были невелики. Такой же небольшой антициклонический круговорот с небольшой скоростью дрейфа сформировался над Восточно-Сибирским морем (рис. 2.2.10).

Общее количество льдов в СЛО в июне, по оценкам, выполненным в ААНИИ, составило 9,9 млн км<sup>2</sup>, что оказалось на 7,0 % меньше среднего многолетнего значения за период 1978—2019 гг. Отрицательная аномалия сформировалась за счет малой ледовитости, наблюдавшейся в секторах 45° з.д. — 95° в.д. (Гренландское — Карское моря) и 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское, Берингово, Охотское).

Ход изменения площади льдов в СЛО и в его отдельных секторах представлен на рис. 2.4.10. Из рисунка хорошо видно, что в конце зимнего сезона и в начале летнего (март — май) развитие ледяного покрова в СЛО было близко к среднему многолетнему, но с началом таяния кривая переместилась в нижнюю часть пучка реализаций сезонного хода.

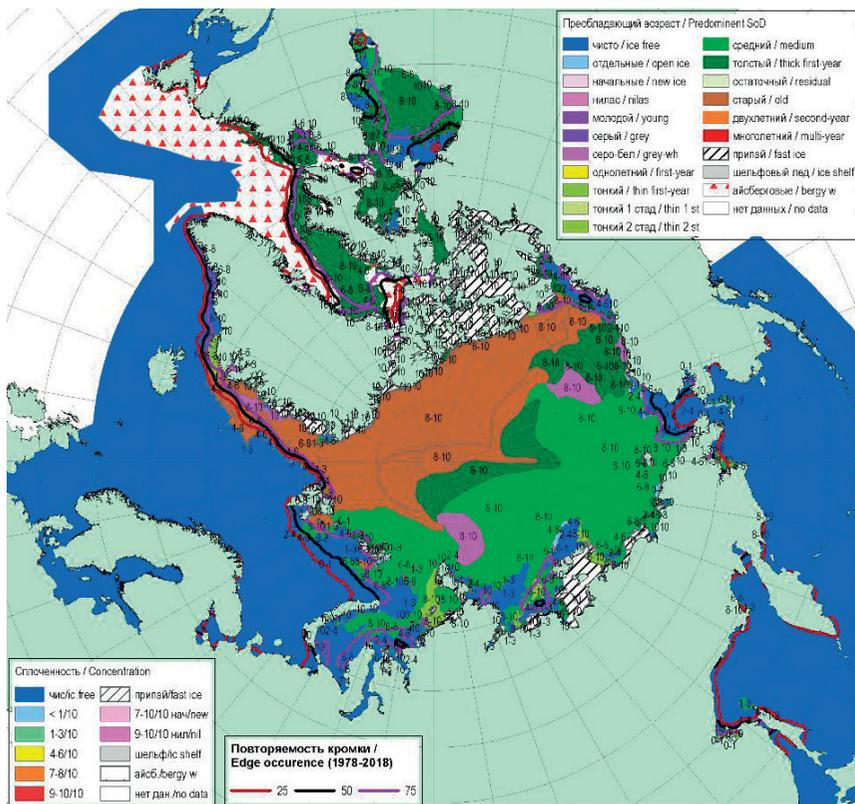


Рис. 2.2.9. Обзорная ледовая карта СЛЮ по возрасту за 18—23 июня 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

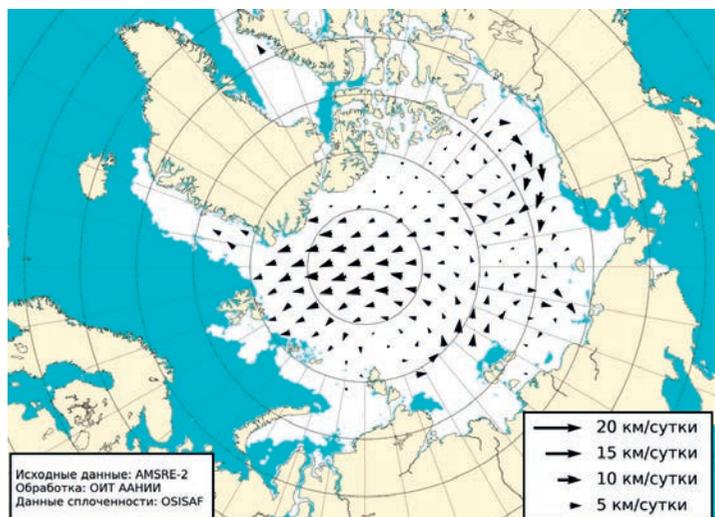


Рис. 2.2.10. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июне 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

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

Летние гидрометеорологические и ледовые условия в СЛО и его морях продолжали развиваться на благоприятном фоне, который сформировался в начале летнего периода и особенно хорошо проявился в окраинных морях российского сектора Арктики.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градициям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период июль — сентябрь 2020 г. приведены на рис. 2.3.1 — 2.3.12.

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  $-40 \dots -60 \%$ . 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 средних многолетних сроков. Припай среди островов Канадского Арктического архипелага в течение июля частично взломался, но до конца месяца сохранялся (рис. 2.3.1).

Продолжался интенсивный вынос льдов из СЛО через пролив Фрама и далее вдоль побережья Гренландии, о чем свидетельствует большая ширина ледового потока, приближающаяся к среднему многолетнему значению (рис. 2.3.1).

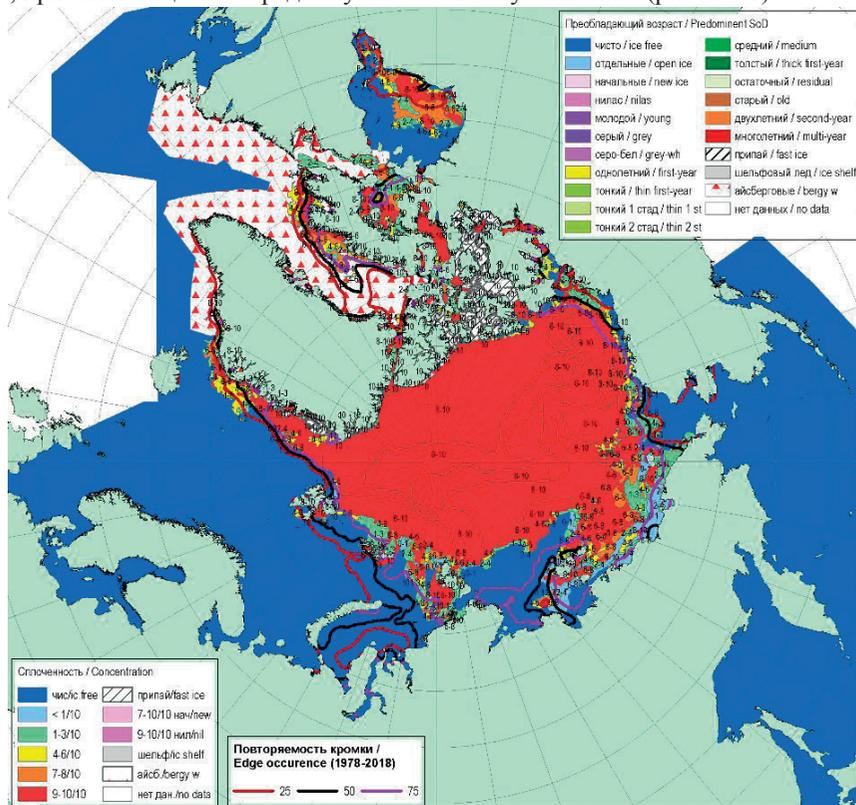


Рис. 2.3.1. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 16—21 июля 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

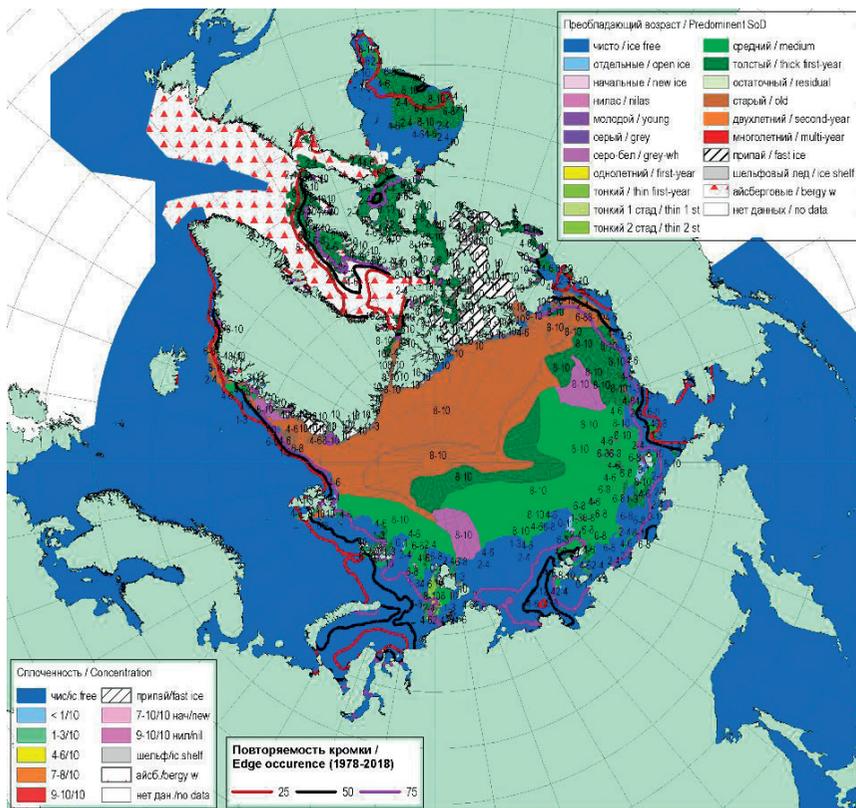


Рис. 2.3.2. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 16—21 июля 2020 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США.

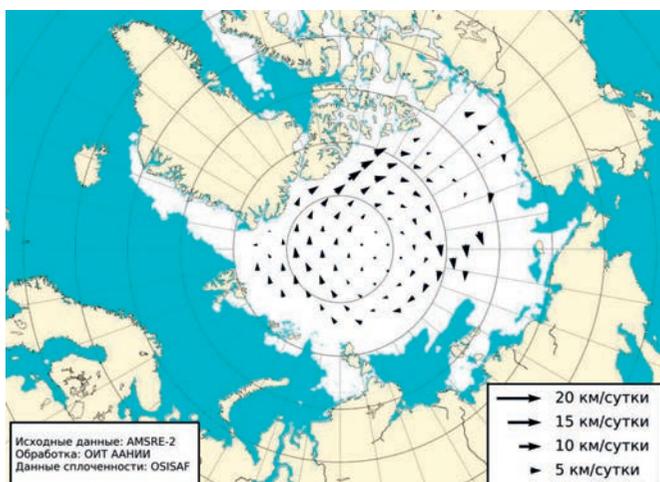


Рис. 2.3.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июле 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

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 оказались экстремальными для середины июля за весь ряд наблюдений (рис. 2.3.2).

Среднемесячное поле дрейфа ледяного покрова приведено на рис. 2.3.3. В поле дрейфа льда наблюдалось формирование необычной картины. Вместо выраженных основных структур дрейфа — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота — в поле дрейфа сформировался один хорошо выраженный антициклонический круговорот с центром над полюсом. Гигантский антициклонический вихрь, который можно принять за смещенный к полюсу Канадский антициклонический круговорот, был развит очень слабо. Скорость дрейфа в приполюсном районе была крайне незначительной и увеличивались к периферии круговорота до 5 км/сут (см. рис. 2.3.3).

В течение августа продолжалось интенсивное сокращение ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и его морях. Уменьшение ледовитости происходило в ос-

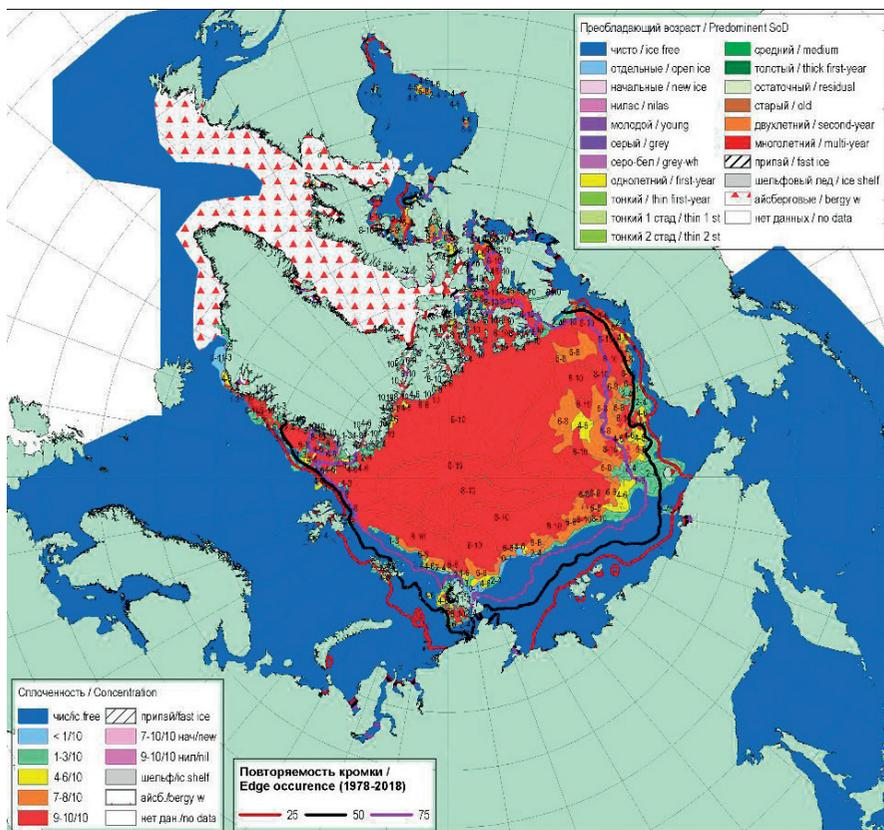


Рис. 2.3.4. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 13—18 августа 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

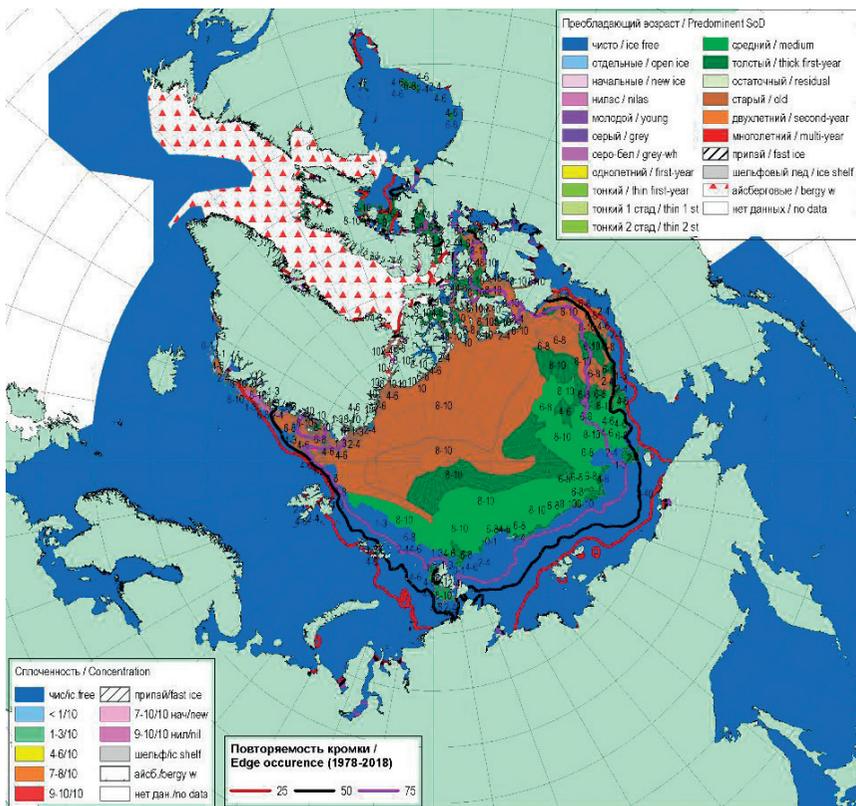


Рис. 2.3.5. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 13—18 августа 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

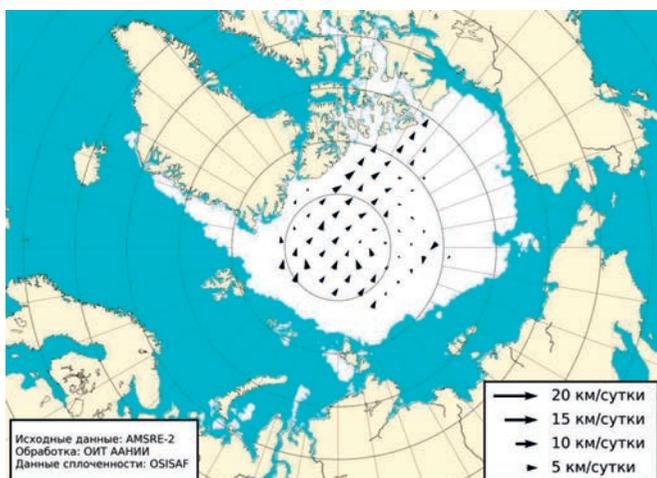


Рис. 2.3.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в августе 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

новном за счет разрушения льда во всех окраинных арктических морях российского сектора Арктики. Ледяной покров начал активно разрушаться в Восточно-Сибирском море.

Все окраинные арктические моря российского сектора Арктики за исключением морей Восточно-Сибирского и Бофорта практически полностью очистились 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 СЛО переместился за северную границу российских арктических морей и оказался прижатым к побережью Гренландии и островам Канадского Арктического архипелага. Припай в районе островов Канадского Арктического архипелага полностью разрушился (рис. 2.3.4).

Возрастной состав льдов в СЛО и его морях сохранялся. Старые льды наблюдались в гренландском и канадском секторах, а также в северной части аляскинского сектора и в части приполюсного района. Оставшиеся льды представляли собой однолетние и толстые льды различной степени разрушенности (рис. 2.3.5).

В августе в поле дрейфа льда существенных изменений не отмечалось. Традиционных структур дрейфа в СЛО не наблюдалось. Вместо них сохранялся слабо развитый и существенно смещенный в приполюсный район антициклонический вихрь с небольшими скоростями дрейфа, который условно можно принять за Канадский антициклонический круговорот. Скорость дрейфа льдов была очень невелика и не превышала  $5$  км/сут (рис. 2.3.6).

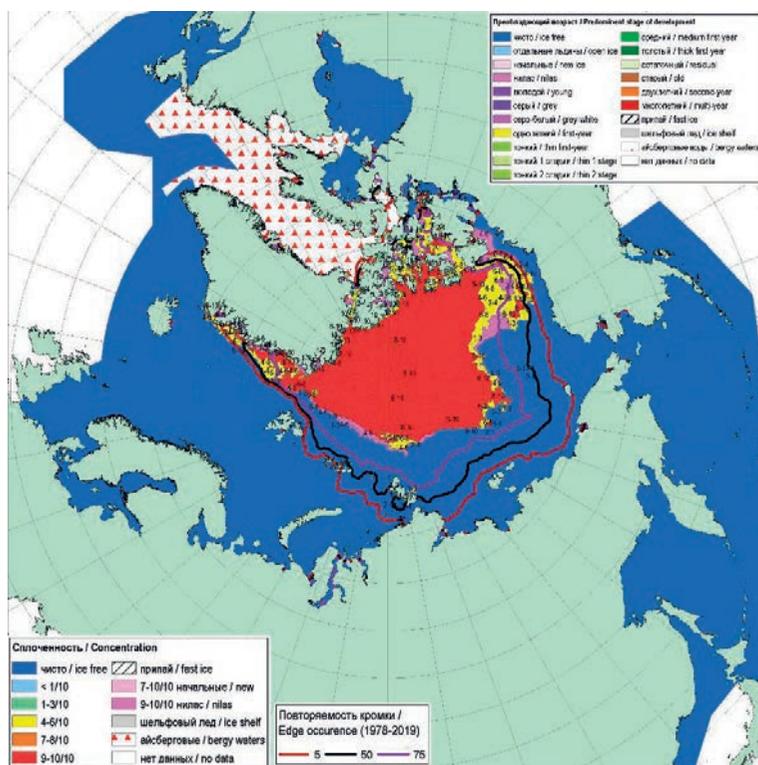


Рис. 2.3.7. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 17—22 сентября 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.



Рис. 2.3.8. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 17—22 сентября 2020 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛС США.

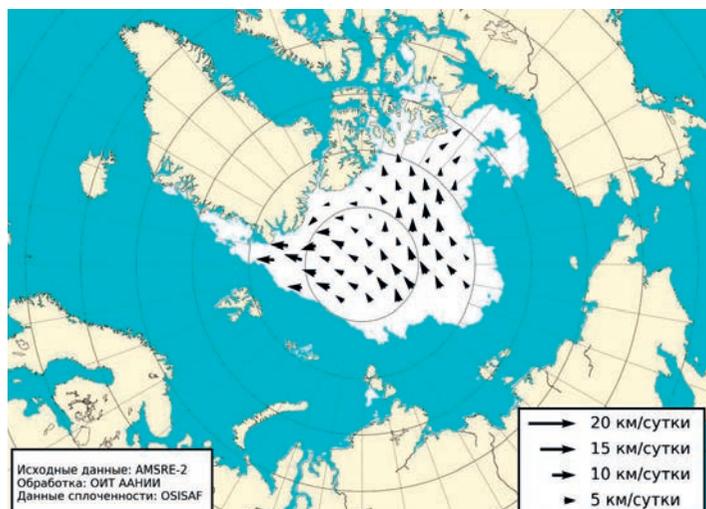


Рис. 2.3.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в сентябре 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

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

В середине сентября в прикромочной зоне на чистой воде по широкому фронту от моря Баренцева до моря Бофорта началось ледообразование — в среднем на 15—20 суток позже средних многолетних сроков. Ледообразование развивалось крайне медленно в российском секторе Арктики и интенсивно в аляскинском и канадском секторах. Начальные и молодые льды наблюдались непосредственно в прикромочной зоне остаточных льдов вблизи параллели 80° с.ш. До конца сентября ширина полосы начальных и молодых льдов не превышала 50—100 км. Таким образом, характерной чертой осеннего ледообразования в 2020 г. является его позднее начало и медленное развитие в морях российского сектора Арктики (рис. 2.3.7).

Основное количество остаточных льдов, сохранившихся после периода летнего таяния, находилось в приполюсном районе, гренландском и канадском секторах СЛО. В сентябре 2020 г. был обновлен минимум положения границы остаточных льдов в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском (рис. 2.3.8).

Поле дрейфа ледяного покрова приведено на рис. 2.3.9. В сентябре сформировалась классическая схема дрейфа. Однако вследствие слабого 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 сформировалась только одна ветвь, выносящая льды к островам Канадского Арктического архипелага (см. рис. 2.3.9).

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2020 г. составила 3,68 млн км<sup>2</sup> при норме 5,9 млн км<sup>2</sup> и, таким образом, была на 37,6 % меньше среднего многолетнего значения. Значение общей площади дрейфующих льдов в СЛО оказалось на 2,20 млн км<sup>2</sup> меньше среднего значения ледовитости за весь ряд наблюдений (1978—2020 гг.). По площади остаточного льда 2020 г. стал вторым по рангу минимумов в группе легких лет, уступив только 2012 г.

Данные о ледовитости Северного Ледовитого океана и его секторов на середину сентября, а также сравнение со значениями ледовитости за другие годы начиная с 2015 г. приведены в табл. 2.3.1.

На рис. 2.4.10 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и его отдельных секторов за период с 26 сентября 1978 г. по 30 сентября 2020 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR — SSM/I — SSMIS, алгоритм NASATEAM. Ход общей ледовитости показывает, что практически весь летний период количество льда по СЛО в целом было меньше среднего многолетнего значения (нормы за 1978—2020 гг.) и очень близко 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° з.д. — 95° в.д. (Гренландское — Карское моря) и сектором 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское). В отличие от малой ледовитости, наблюдаемой в этих секторах, в секторе 170—45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика) ледовитость было достаточно высокой в зимний, весенний и летний периоды, превышая норму для короткого ряда за 2010—2020 гг. (см. табл. 2.3.1, рис. 2.4.10).

**Значения ледовитости за 14—20 сентября 2020 г. и ее аномалии по отношению к значениям за разные годы и за периоды 2010—2020 и 1978—2020 гг. по данным наблюдений SSMR-SSM/I-SSMIS**

Район, сектор	S, тыс. км <sup>2</sup>	Аномалия, тыс. км <sup>2</sup>						
		2015	2016	2017	2018	2019	2010— 2020	1978— 2020
СЛО	3681,5	-760,0	-648,9	-978,9	-864,1	-424,2	-705,5	-2196,0
Сектор 45° з.д. — 95° в.д. (моря Гренландское — Карское)	874,8	-358,0	-270,9	-175,0	-108,6	-277,7	-236,7	-529,1
Сектор 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское, Берингово, Охотское)	775,0	-398,2	-510,0	-741,7	-440,5	-246,3	-428,1	-1144,9
Сектор 170—45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика)	2323,7	216,7	361,0	162,3	-84,7	330,1	164,6	-311,1

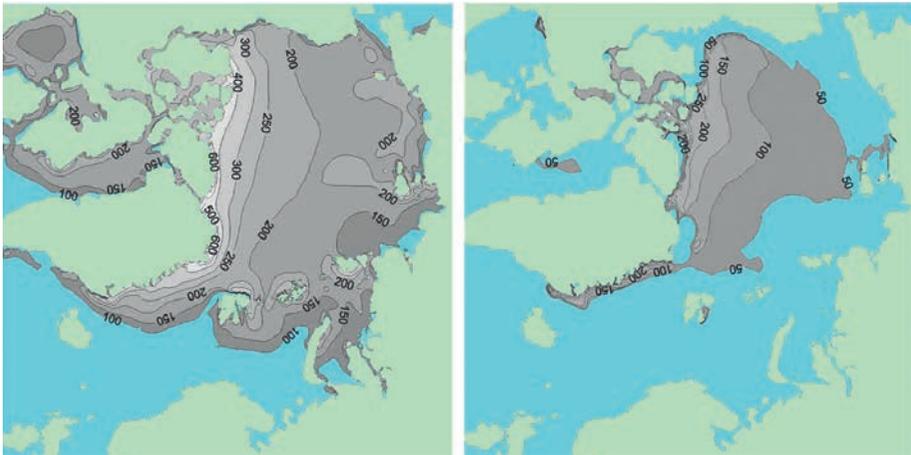


Рис. 2.3.10. Распределение средней толщины льда (с учетом торосов) в СЛО по результатам расчетов на 1 мая (слева) и 1 октября (справа) 2020 г.

Для оценки изменения объема и толщины льда в СЛО в летний сезон 2020 г. была использована модель совместной циркуляции вод и льдов ARI-IOCM, разработанная в ААНИИ. Модель ARI-IOCM представляет собой результат объединения трех моделей: трехмерной бароклинной модели циркуляции вод, модели дрейфа ледяного покрова и термодинамической модели морского льда. Модель адаптирована к акватории СЛО и прилегающей акватории Атлантического океана и имеет пространственное разрешение 13,8 км.

На рис. 2.3.10 представлено распределение средней расчетной толщины льда (с учетом торосов) на 1 мая и 1 октября 2020 г. Площадь льда по расчетам на начало мая и начало октября составляет 13,5 и 4,2 млн км<sup>2</sup> соответственно. Вычисленные объемы льда в СЛО на эти даты составили 25,0 и 3,8 тыс. км<sup>3</sup>. Таким образом, уменьшение объема льдов за летний сезон составило 21,2 тыс. км<sup>3</sup>.

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

Распределение ледяного покрова по возрастным градациям и по сплоченности, а также поля среднемесячного дрейфа льда за каждый месяц за период октябрь — декабрь 2020 г. приведены на рис. 2.4.1 — 2.4.9.

После аномально легких ледовых условий, сложившихся к концу летнего периода, ледообразование в осенний период 2020 г. началось позже средних многолетних сроков. В центральной части СЛО, гренландском секторе и в проливах Канадского Арктического архипелага начальные льды стали отмечаться в начале сентября.

В третьей декаде октября волна ледообразования подошла к северной границе российских арктических морей. Молодыми льдами были полностью покрыты отдельные районы СЛО — проливы Канадского Арктического архипелага и море Бофорта. Одновременно с развитием ледообразования в прикромочной зоне остаточных льдов ледообразование также началось в прибрежных районах арктических морей — северо-западной части Карского моря, моря Лаптевых и восточной части Восточно-Сибирского моря. Остальные окраинные моря — Гренландское, Баренцево и Чукотское — в течение октября оставались свободными ото льда.

Южнее массива старых льдов в СЛО до конца октября наблюдались исключительно молодые льды. Перехода молодых льдов в возрастную градацию однолетних тонких льдов не наблюдалось, что свидетельствует о медленном развитии осенних ледовых процессов в 2020 г. (рис. 2.4.1).

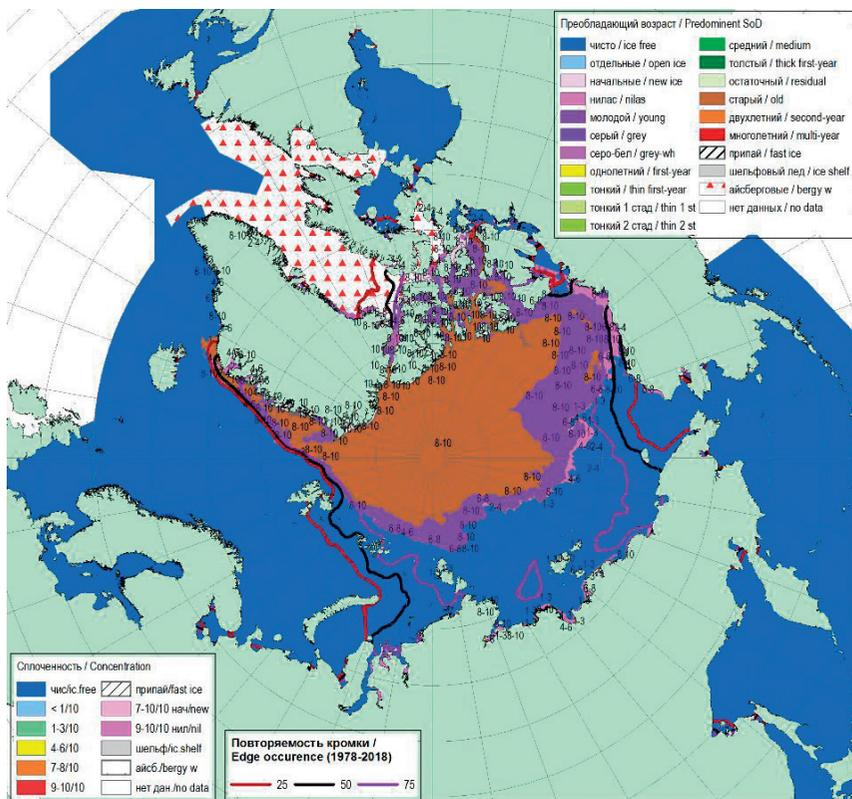


Рис. 2.4.1. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 15—20 октября 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

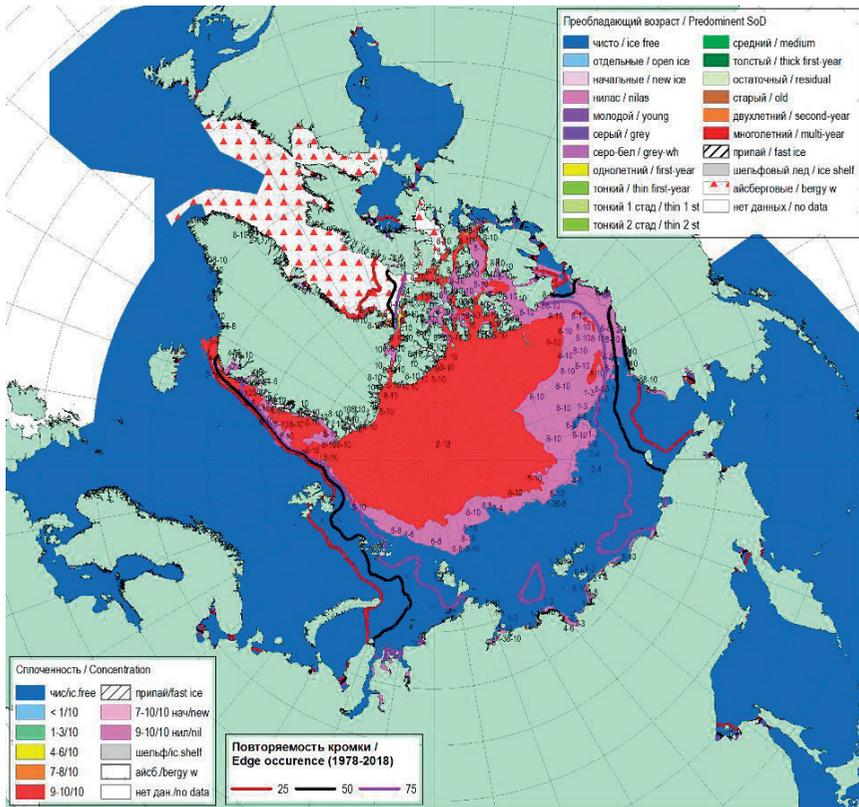


Рис. 2.4.2. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 15—20 октября 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

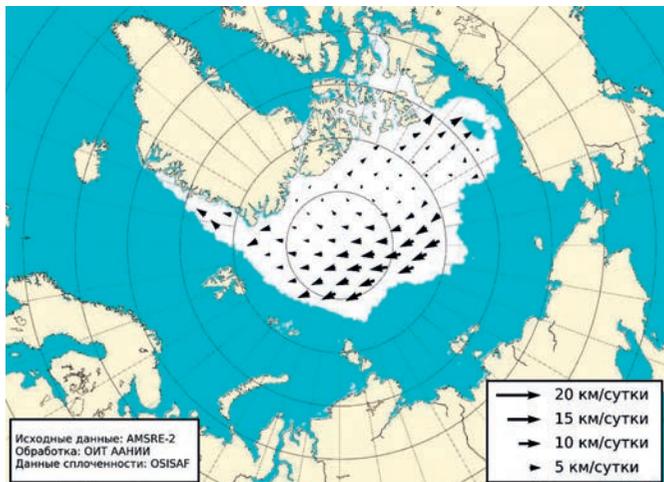


Рис. 2.4.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в октябре 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины сентября по середину октября, составило около 1,3 млн км<sup>2</sup>, что было на 28 % меньше среднего многолетнего значения за длинный ряд наблюдений с 1979—2020 гг. (1,8 млн км<sup>2</sup>).

Поле сплоченности ледяного покрова в тех районах, в которых ледообразование уже началось, было достаточно однородным. Здесь преобладали льды сплоченностью 9—10 баллов. Образование припая, который обычно в октябре становится среди островов Канадского Арктического архипелага, не наблюдалось.

Граница дрейфующих льдов располагалась значительно севернее своего среднего многолетнего положения в западном и восточном районах российского сектора Арктики и близко к среднему многолетнему положению в морях Гренландском и Бофорта. Это также свидетельствует о медленном развитии осенних ледовых процессов в октябре 2020 г. (рис. 2.4.2).

В октябре из-за малого развития ледяного покрова, было трудно выделить масштабные структуры дрейфа льда в СЛО.

Трансарктический перенос льда был развит слабо и наблюдался в крайней западной части массива льдов в СЛО. Также крайне слабо был выражен Канадский антициклонический круговорот, который наблюдался в центральной и восточной частях массива остаточных льдов в СЛО.

Южнее приполюсного района, на южной периферии массива остаточных льдов, в СЛО сформировался широтный перенос льдов с востока на запад. Часть этого потока в районе Полюса отклонялась к северу и попадала в Канадский антициклонический круговорот, а более южная часть потока вливалась в Трансарктический перенос льда (рис. 2.4.3).

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

Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины октября по середину ноября, было экстремально большим за весь период наблюдений (1978—2020 гг.) и составило 3,56 млн км<sup>2</sup>, что на 60 % превысило среднее многолетнее значение (2,2 млн км<sup>2</sup>).

Интенсивность нарастания льда по толщине также было достаточно большой, что хорошо прослеживалось по появлению однолетних тонких льдов в северной части всех арктических морей. Если в конце октября в окраинных арктических морях российского сектора Арктики и в море Бофорта преобладали молодые льды, то в середине ноября в северной части Восточно-Сибирского и Чукотского морей, а также в центральной и восточной частях моря Бофорта наблюдались однолетние тонкие льды (диапазон толщины 30—70 см).

Старые и остаточные однолетние льды занимали весь приполюсный район, гренландский и канадский секторы Арктики (рис. 2.4.4).

Сплоченные льды наблюдались по всей акватории океана и его окраинных морей. Свободной ото льда оставалась большая часть акваторий Баренцева, Карского и Чукотского морей. Характерной чертой развития ледяного покрова в ноябре стало экстремальное положение границы распространения дрейфующего льда в Баренцевом и Карском морях. В ноябре 2020 г. был установлен новый минимум распространения дрейфующих льдов в этих морях. Среди островов Канадского Арктического архипелага, а также островов российских архипелагов появления и развития припая не наблюдалось до третьей декады ноября (рис. 2.4.5).

В ноябре наблюдалось развитие очень необычной картины дрейфа ледяного покрова в СЛО. Традиционных структур дрейфа льда в виде Трансарктического

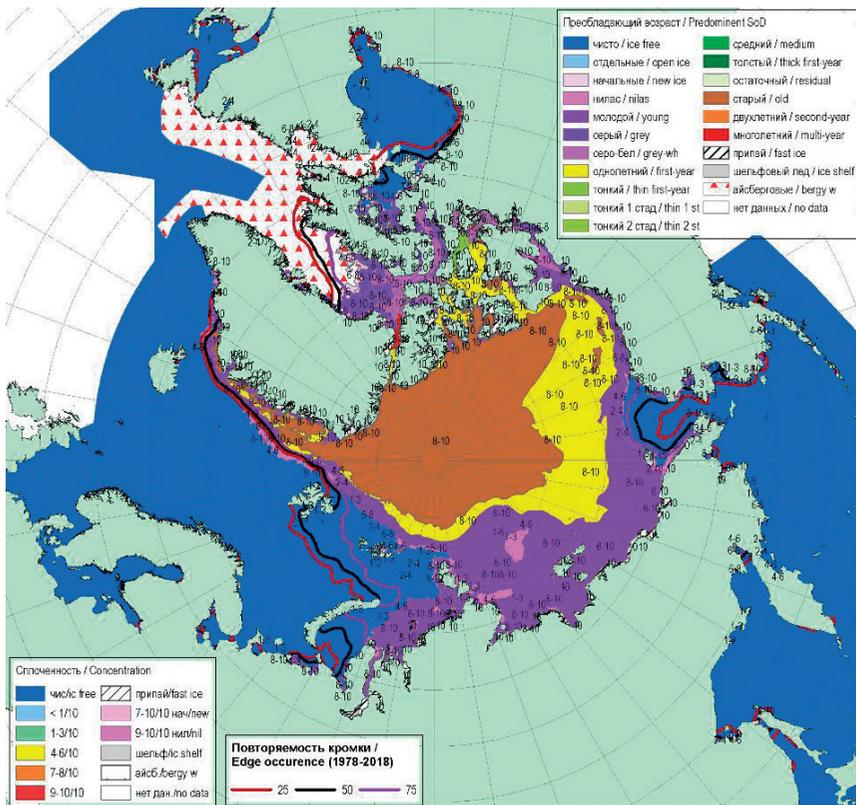


Рис. 2.4.4. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 12—17 ноября 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

переноса и Канадского антициклонического круговорота не наблюдалось вообще. Вместо этого в западной части СЛО, в приполюсном районе и в гренландском секторе наблюдался слабо развитый циклонический вихрь, под воздействием которого льды от архипелага Земля Франца-Иосифа через приполюсный район вдоль северного побережья Гренландии выносились в пролив Фрама.

От архипелага Новосибирские острова через всю восточную часть СЛО вплоть до островов Канадского Арктического архипелага наблюдался трансарктический перенос льда. Далее вдоль побережья Аляски поток льда выносился в западную часть моря Бофорта и в северную часть Чукотского моря (рис. 2.4.6).

В декабре продолжилось увеличение площади и толщины ледяного покрова. Количество молодых льдов, появившихся в СЛО и его морях с середины ноября по середину декабря, составило около 1,97 млн км<sup>2</sup>, что оказалось на 47 % больше среднего многолетнего значения (1,34 млн км<sup>2</sup>). В декабре процесс увеличения площади ледяного покрова оказался таким же экстремальным, как и в ноябре.

В начале декабря ледообразование охватило всю северную часть Баренцева моря, большую часть Карского моря и практически все Чукотское море. Акватории этих морей были покрыты молодыми льдами. Свободными ото льда оставались акватории юго-западной части Карского моря и юго-восточной части Баренцева моря.

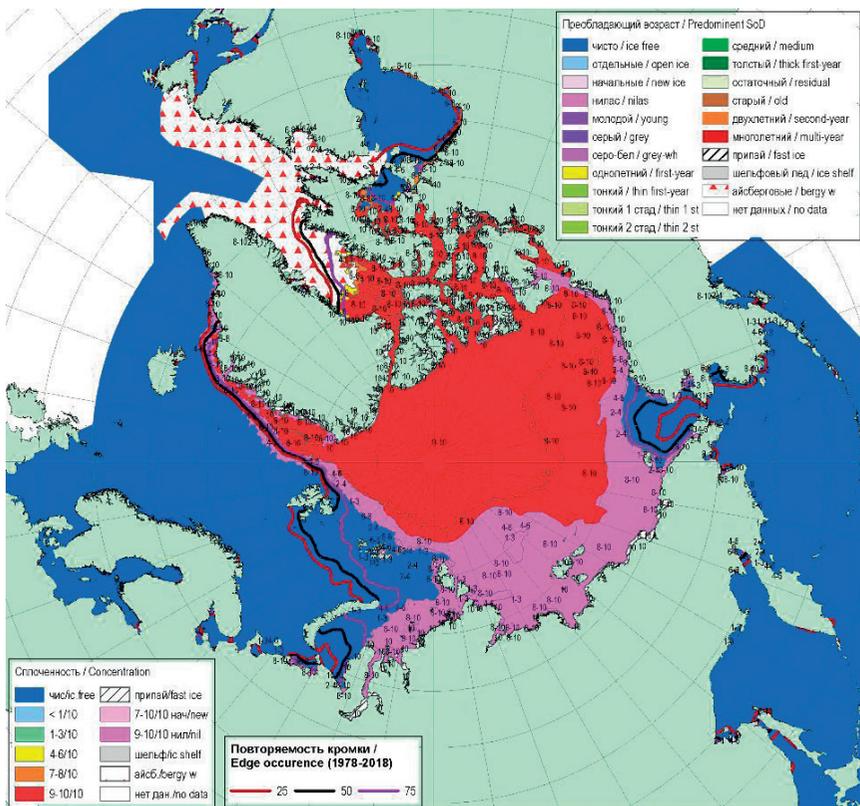


Рис. 2.4.5. Обзорная ледовая карта СЛЮ по сплоченности льда за 12—17 ноября 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

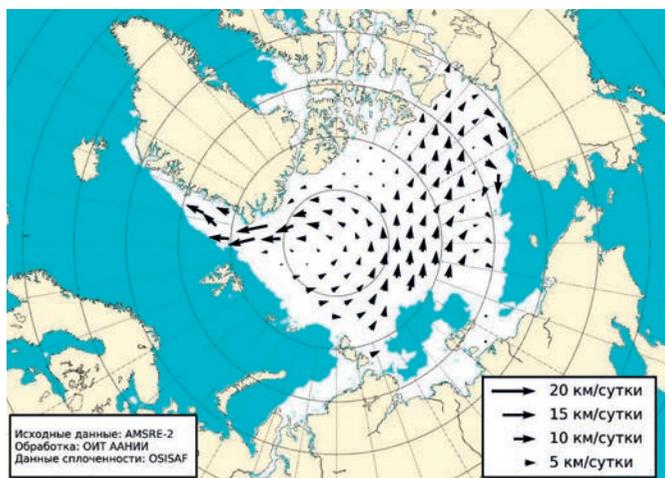


Рис. 2.4.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в ноябре 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

На акватории Баренцева и Карского морей, а также прибрежной части морей Лаптевых и Чукотского наблюдались молодые льды (серые и серо-белые). В центральной и северной частях моря Лаптевых, а также в морях Восточно-Сибирском и Бофорта наблюдалось преобладание однолетнего тонкого льда (рис. 2.4.7).

По всей акватории СЛО и по акватории его морей сформировалось однородное поле сплоченности льда 9—10 баллов. Обширных разрывов и разряжений в ледяном покрове не наблюдалось. Граница распространения дрейфующих льдов в морях Гренландском и Баренцевом была близка к своему среднему многолетнему положению. С конца ноября — начала декабря началось становление припая в районе архипелага Новосибирские острова. Обширный припай установился среди островов Канадского Арктического архипелага (рис. 2.4.8).

В поле дрейфа льда наблюдалось развитие обеих традиционно выделяемых структур — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота.

Трансарктический перенос льда был развит слабо. Его стрежень был смещен на запад. Трансарктический перенос льда начинался из северо-восточной части Карского моря и моря Лаптевых. Далее через западную часть приполюсного района льды выносились в пролив Фрама. Скорость дрейфа льда была низкой и составляла менее 5 км/сут.

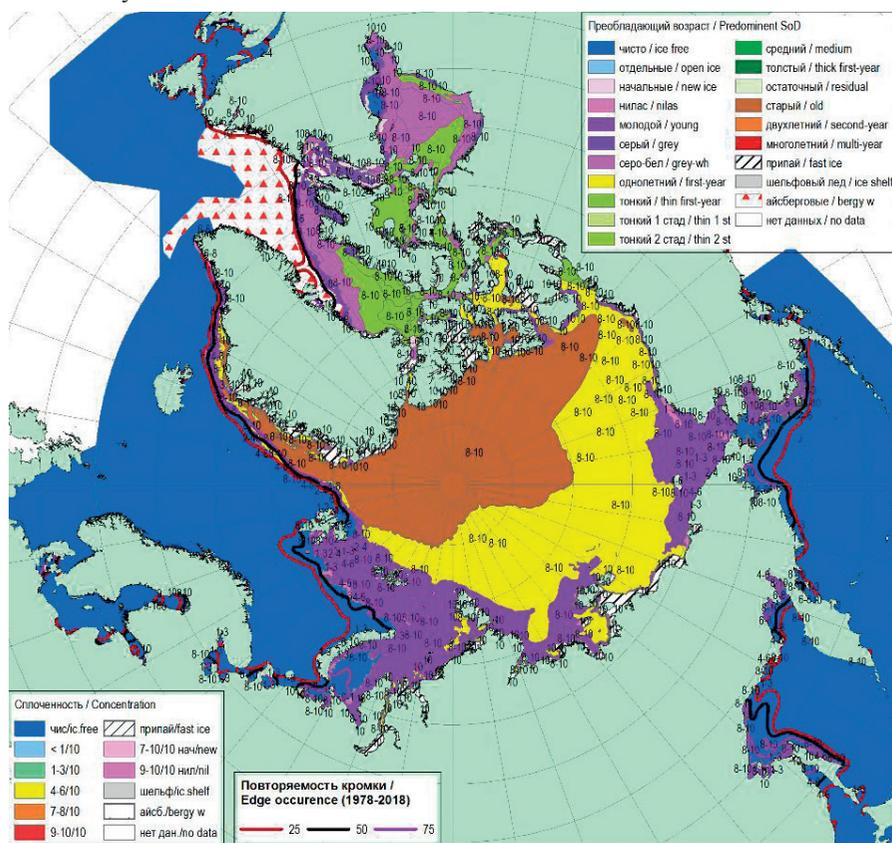


Рис. 2.4.7. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 17—22 декабря 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

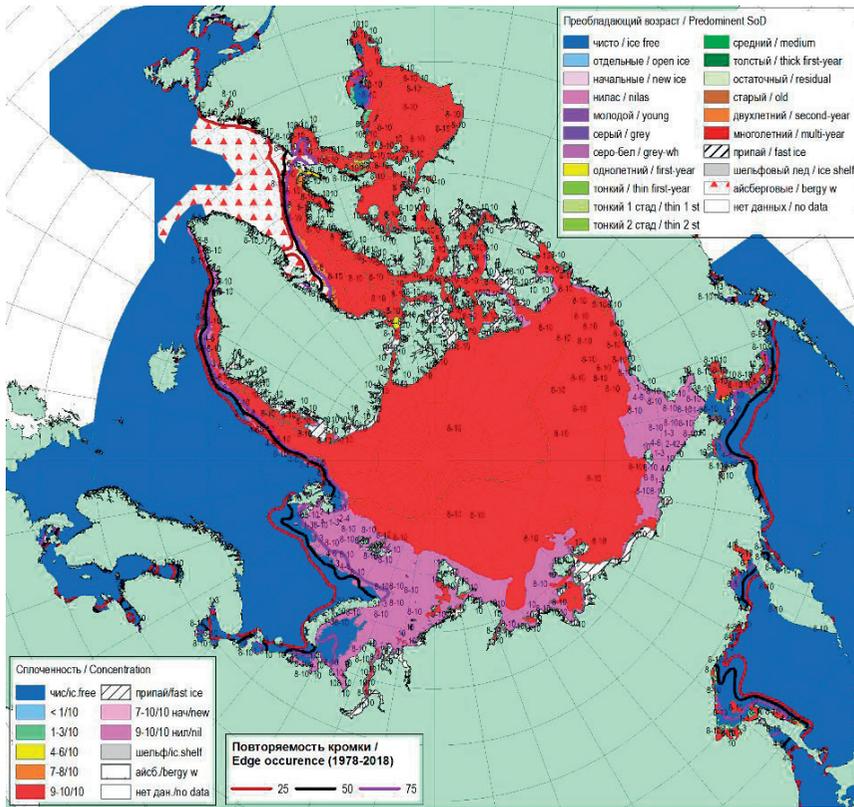


Рис. 2.4.8. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 17—22 декабря 2020 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

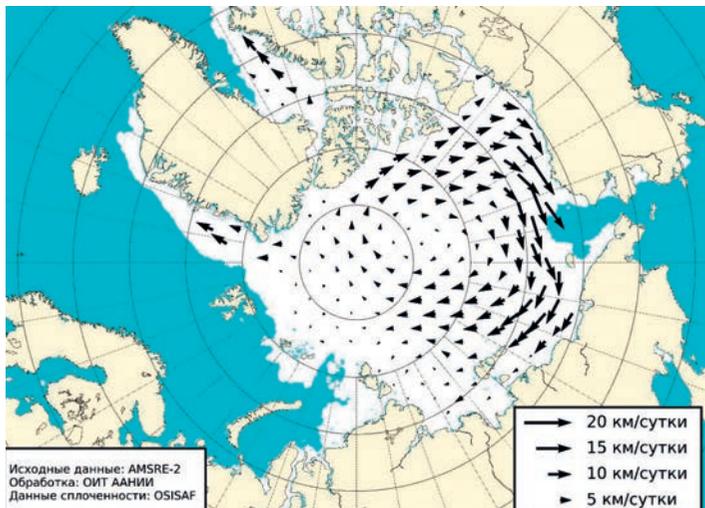


Рис. 2.4.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в декабре 2020 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

В результате развития обширного антициклона над полярной областью получил хорошее развитие Канадский антициклонический круговорот. Центр круговорота располагался в зоне 82—83° с.ш. по меридиану 180°. По периферии круговорота лед переносило вдоль побережья островов Канадского Арктического архипелага, далее вдоль побережья Аляски и выносило в северные районы морей Чукотского и Восточно-Сибирского. На периферии круговорота скорость дрейфа льда достигала 10—15 км/сут (рис. 2.4.9).

На рис. 2.4.10 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для СЛО и его отдельных секторов (за период с октября 1978 г. по декабрь 2020 гг.) по годам на основе расчетов по данным SSMR — SSM/I, алгоритм NASATEAM.

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в Северном Ледовитом океане в конце декабря 2020 г. составила 11,17 млн км<sup>2</sup> при норме 11,55 млн. км<sup>2</sup>, т.е. была на 3,3 % меньше среднего многолетнего значения.

Сезонный ход ледовитости в СЛО показывает, что общее количество льдов в течение зимнего и весеннего периодов было близко к средним многолетним значениям для длинного ряда наблюдений (1978 — 2020 гг.). Однако в конце весеннего и в летний период общая площадь льдов существенно сократилась, превысив только на 323 тыс. км<sup>2</sup> показатели аномально легкого 2012 г. Основной вклад в формирование легких ледовых условий в течение года вносили моря западного меридионального сектора 95° в.д. — 170° з.д. (моря Гренландское, Баренцево, Карское) (см. рис. 2.4.10).

Площадь ледяного покрова в СЛО в середине сентября, на период максимального ее сокращения, стала второй по рангу в группе легких лет.

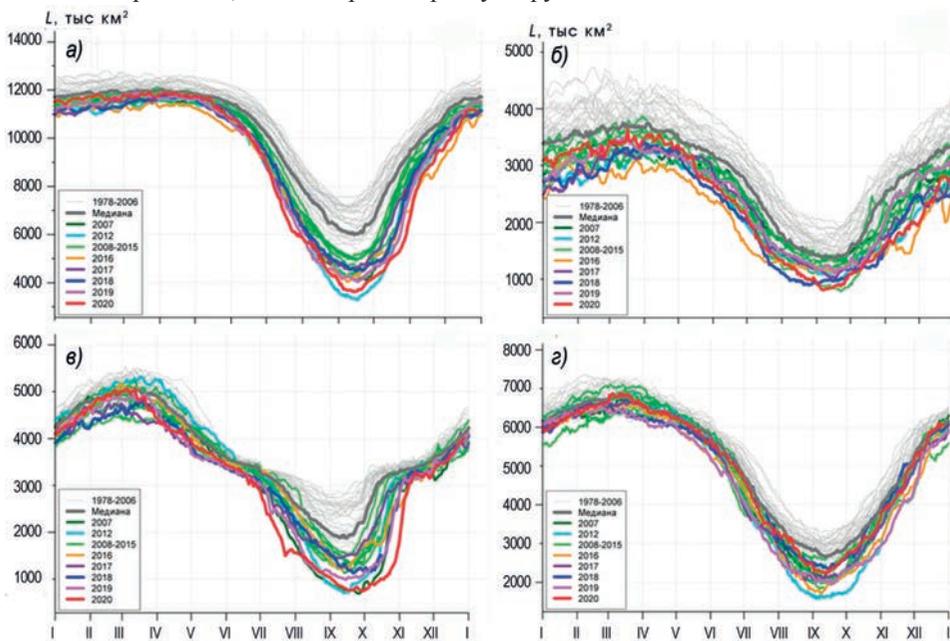


Рис. 2.4.10. Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и трех меридиональных секторов за период с 26 октября 1978 г. по 29 декабря 2020 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR — SSM/I — SSMIS — AMSR2.

- а) Северный Ледовитый океан; б) сектор 45° з.д. — 95° в.д. (Гренландское — Карское моря);
- в) сектор 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское);
- г) сектор 170 — 45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика).

Развитие ледовых условий в 2020 г. сохранило тенденцию, наблюдающуюся в последние несколько лет. После аномально легкого развития ледовых условий в 2012 г. во все последующие годы, включая 2020 г., наблюдалось развитие умеренно малой ледовитости (на 5—10 % меньше средних многолетних значений) в течение всего года, кроме летнего периода. В летний период происходило значительное сокращение ледовитости и формировались аномально легкие ледовые условия (аномалия ледовитости на 25—35 % меньше средних многолетних значений). В то же время в осенний сезон (в ноябре — декабре) стали наблюдаться очень интенсивное ледообразование и аномальное увеличение площади ледяного покрова.

## 2.5. ЛЕДОВО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК

Обзор ледово-гидрологических условий в устьевых областях рек бассейнов морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского составлен на основе ежедневной информации, полученной на АСПД ААНИИ кодом КН-15 с постов стационарной сети Росгидромета, расположенных на устьевых участках рек, и кодом КН-02 SEA с полярных станций, расположенных на устьевых взморьях рек Оби и Енисей.

### *Ледово-гидрологические условия в устьевых областях рек бассейна Карского моря*

#### *Нарастание льда в зимне-весенний период*

Наибольшее увеличение толщины льда на реке Оби наблюдалось в феврале, на устьевых участках рек Таз и Енисей — в январе, кроме п. Караул, где наибольшее нарастание льда отмечалось в феврале и марте. В марте и апреле на реке Енисей в районе п. Игарка нарастания льда не отмечалось. На реке Таз в марте также не наблюдалось нарастания льда, а к концу апреля толщина льда уменьшилась на 5 см. На реке Оби (п. Салехард) в конце апреля измерения не производились в связи с опасностью выхода на лед.

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

Таблица 2.5.1

**Толщина льда ( $H$ ) и его нарастание ( $\Delta H$ ) от месяца к месяцу на устьевых участках рек бассейна Карского моря**

Река	Пункт	31 января		29 февраля		31 марта		30 апреля	
		$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см
Обь	Салехард	60	+4	84	+24	85	+1	85*	0*
Таз	Тазовское	84	+14	90	+6	90	0	85	-5
Енисей	Игарка	70	+8	71	+1	71	0	71	0
	Дудинка	82	+19	99	+17	117	+18	123	+6
	Караул	61	+11	74	+13	87	+13	98	+11

\* Данные за 25 апреля.

В табл. 2.5.2 приведены аномалии толщины льда на конец апреля, т. е. в период, близкий к максимальному нарастанию льда. На реках Оби, Таз и Енисей значения толщины льда оказались меньше средних многолетних на 8—47 см.

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

Река	Пункт	Толщина, см		
		2020 г.	Средняя	Аномалия
Обь	Салехард	85*	101	-16*
Таз	Тазовское	85	132	-47
Енисей	Игарка	71	96	-25
	Дудинка	123	131	-8
	Караул	98	134	-36

\* Данные за 25 апреля.

Высота снега на льду в конце апреля составила: на реке Таз 36—50 см, на реке Енисей от менее 5 до 25 см. На реке Оби в конце апреля высота снега не измерялась.

В табл. 2.5.3 приведены сроки начала весеннего ледохода и очищения ото льда, а также их аномалии по отношению к средним многолетним датам.

Таблица 2.5.3

**Толщина льда ( $H$ ) и его нарастание ( $\Delta H$ ) от месяца к месяцу на устьевых взморьях рек Оби и Енисей**

Устьевое взморье	Пункт	31 января		29 февраля		31 марта		30 апреля	
		$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см
Обская губа	Новый Порт	99	+18	121	+22	137	+16	142	+5
Енисейский залив	Сопочная Карга	94	+16	106	+12	120	+14	133	+13

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

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

Таблица 2.5.4

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

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2020 г.	Среднее	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	142	141	+1
Енисейский залив	Сопочная Карга	133	163	-30

Толщина льда в конце апреля на устьевом взморье реки Оби превышала среднее многолетнее значение на 1 см, а на устьевом взморье реки Енисей была меньше среднего многолетнего на 30 см.

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

#### *Характеристика процесса вскрытия*

Признаком начала разрушения льда весной является образование закраин.

Появление закраин было отмечено на устьевых участках реки Енисей с 30 апреля по 10 мая, подвижки льда — со 2 по 12 мая. Затор льда отмечался на реке Енисей (п. Игарка) с 6 по 10 мая. Закраины, подвижки и заторы льда на устьевых участках рек Оби и Таз не отмечались.

Весенний ледоход и очищение ото льда на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисей начались значительно раньше средних многолетних дат.

Продолжительность весеннего ледохода на реках Таз, Оби и Енисей составила от 3 до 18 суток.

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

Таблица 2.5.5

Сроки вскрытия и очищения на устьевых участках рек							
Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь	Салехард	12.05	24.05	-12	21.05	30.05	-9
Таз	Тазовское	20.05	09.06	-20	23.05	12.06	-20
Енисей	Игарка	05.05	27.05	-22	23.05	06.06	-14
	Дудинка	17.05	03.06	-17	24.05	11.06	-18
	Караул	21.05	07.06	-17	26.05	17.06	-22

В табл. 2.5.6 приведены сроки взлома припая и очищения ото льда, а также аномалии по отношению к средним многолетним срокам на устьевых взморьях рек Оби и Енисей.

Таблица 2.5.6

#### Сроки вскрытия и очищения на устьевых взморьях рек Оби и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Взлом припая	29.05	18.06	-20
		Очищение от льда	06.06	27.06	-21
Енисейский залив	Сопочная Карга	Взлом припая	06.06	19.06	-13
		Очищение от льда	06.06	26.06	-20

Взлом припая и очищение устьевых участков рек Оби и Енисей произошли значительно раньше средних многолетних дат.

Продолжительность ледохода в Обской губе составила восемь дней, в Енисейском заливе взлом припая и очищение произошли в один день.

#### Характеристика процесса замерзания

Замерзание крупных рек бассейна Карского моря начинается, как правило, с появления заберегов. В 2020 г. появление заберегов зафиксировано позже средних многолетних сроков: на реке Оби на 1 день, на реке Таз на 9 дней, на реке Енисей на 7 дней. На реке Енисей, п. Игарка, забереги не отмечены. Устойчивое появление плавучего льда произошло также позже средних многолетних сроков на 5—7 дней повсюду, кроме реки Оби, где появление льда началось в сроки, соответствующие средним многолетним. Ледостав во всех пунктах также отмечен позже средних многолетних сроков на 2—13 дней. Продолжительность периода с плавучим льдом составила от 1—3 дней на реках Таз и Енисей до 23 дней на реке Оби.

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

Таблица 2.5.7

**Сроки наступления ледовых явлений и их аномалии на устьевых участках рек**

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обь, Салехард	20.10	19.10	+1	20.10	20.10	0	12.11	30.10	+13
Таз, Тазовское	19.10	10.10	+9	19.10	12.10	+7	20.10	14.10	+6
Енисей, Игарка	—	17.10	—	23.10	18.10	+5	25.10	23.10	+2
Енисей, Дудинка	24.10	17.10	+7	24.10	18.10	+6	27.10	24.10	+3
Енисей, Караул	20.10	13.10	+7	23.10	18.10	+5	25.10	22.10	+3

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

Таблица 2.5.8

**Сроки наступления ледовых явлений на устьевых взморьях рек Оби и Енисей**

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Устойчивое появление плавучего льда	19.10	11.10	+8
		Полное замерзание	27.10	18.10	+9
Енисейский залив	Сопочная Карга	Устойчивое появление плавучего льда	19.10	11.10	+8
		Полное замерзание	28.10	23.10	+5

На устьевом взморье появление плавучего льда и полное замерзание происходили на 5—9 дней позднее средних многолетних сроков. Продолжительность периода с плавучим льдом составила 8—9 дней.

*Наращение льда в осенне-зимний период*

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

Таблица 2.5.9

**Толщина льда ( $H$ ) и его нарастание ( $\Delta H$ ) в осенне-зимний период на устьевых участках рек Карского моря**

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

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

Таблица 2.5.10

**Толщина льда и ее аномалия в конце декабря на устьевых участках рек бассейна Карского моря**

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2020 г.	Среднее	Аномалия
Обь	Салехард	74	62	+12
Таз	Тазовское	62	77	-15
Енисей	Игарка	50	59	-9
	Дудинка	74	72	+2
	Караул	56	83	-27

Толщина льда в конце декабря 2020 г. на устьевых участках рек Оби и Енисей (п. Дудинка) была больше средних многолетних значений на 2—12 см, а на реках Таз и Енисей (п. Игарка и Караул) — меньше средних значений на 9—27 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от менее чем 5 см до 26—35 см.

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

Таблица 2.5.11

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

Устьевое взморье	Пункт	30 октября			30 ноября		31 декабря	
		$H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см
Обская губа	Новый Порт	11	32	+21	63	+31		
Енисейский залив	Сопочная Карга	17	33	+16	58	+25		

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

Таблица 2.5.12

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

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2020 г.	Средняя	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	63	77	-14
Енисейский залив	Сопочная Карга	58	96	-38

Толщина льда в конце декабря 2020 г. на устьевом взморье рек Оби и Енисей была меньше средних многолетних значений на 14—38 см.

Высота снега на льду на конец декабря на устьевом взморье реки Енисей составила 5—9 см, на устьевом взморье реки Оби — 30—39 см.

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

*Нарастание льда в зимне-весенний период*

Наибольшее нарастание льда на устьевых участках рек Хатанги и Лены (п. Хабарово) отмечено в январе, на устьевых участках рек Оленёк, Лены (п. Кюсюр)

и Яны — в феврале. В апреле нарастание льда продолжалось повсеместно за исключением реки Хатанги, где к концу месяца толщина льда уменьшилась на 10 см.

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

Таблица 2.5.13

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

Река, пункт	31 января		29 февраля		31 марта		30 апреля	
	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см
Хатанга, Хатанга	125	+45	143	+18	151	+8	141	-10
Оленёк, Тюмети	81	+11	100	+19	108	+8	113	+5
Оленёк, Усть-Оленёк	130	+22	160	+30	185	+25	191	+6
Лена, Кюсюр	119	+18	150	+31	165	+15	169	+4
Лена, Хабарово	184	+53	205	+21	213	+8	216	+3
Яна, Юбилейная	75	+19	96	+21	105	+9	113	+8

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

Таблица 2.5.14

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2020 г.	Среднее	Аномалия
Хатанга	Хатанга	141	151	-10
Оленёк	Тюмети	113	136	-23
	Усть-Оленёк	191	190	+1
Лена	Кюсюр	169	173	-4
	Хабарово	216	224	-8
Яна	Юбилейная	113	150	-37

Толщина льда в апреле на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых была значительно меньше (на 4—37 см) средних многолетних значений. В устьевой части реки Оленёк (п. Усть-Оленёк) толщина льда на 1 см превышала среднее многолетнее значение.

Высота снега на льду в конце апреля в устьевой части рек составила: на реке Лене (п. Хабарово) менее 5 см, на реке Оленёк (п. Усть-Оленёк) 16—20 см, на реках Хатанге и Лене (п. Кюсюр) 26—35 см, на реках Оленёк (п. Тюмети) и Яне 36—50 см.

*Характеристика процесса вскрытия*

На устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых появление закраин было отмечено на реках Хатанге, Лене и Оленёк в третьей декаде мая. На реке Яне закраин не наблюдалось. Подвижки на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых отмечались только на реке Хатанге также в третьей декаде мая. На реках Лене (п. Кюсюр) и Оленёк (п. Тюмети) в третьей декаде мая процесс вскрытия сопровождался образованием заторов.

Весенний ледоход и очищение ото льда повсеместно начались раньше, чем в среднем многолетнем. Продолжительность ледохода на реках составила: на Хатанге пять дней, на реке Оленёк от трех до восьми дней, на Лене от пяти до шести дней, на Яне четыре дня.

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

Таблица 2.5.15

**Сроки вскрытия и очищения устьевых участков рек**

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга	Хатанга	25.05	11.06	-17	30.05	16.06	-17
Оленёк	Тюмети	23.05	01.06	-9	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	09.06	-7
	Хабарово	02.06	06.06	-4	07.06	13.06	-6
Яна	Юбилейная	24.05	29.05	-5	28.05	05.06	-8

*Характеристика процесса замерзания*

Появление заберегов на устьевых участках рек моря Лаптевых началось позже средних многолетних сроков на 7—15 дней.

В табл. 2.5.16 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений на устьевых участках рек Хатанги, Оленёк, Лены и Яны и их аномалии.

Таблица 2.5.16

**Характеристики ледовых условий в осенний период на устьевых участках рек**

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Хатанга,	13.10	-	-	-	02.10	-	15.10	04.10	+11
Хатанга									
Оленёк,	07.10	27.09	+10	10.10	01.10	+9	18.10	10.10	+8
Тюмети									
Оленёк,	10.10	02.10	+8	10.10	01.10	+9	12.10	06.10	+6
Усть-Оленёк									
Лена,	15.10	08.10	+7	15.10	09.10	+6	29.10	23.10	+6
Кюсюр									
Быковская	23.10	08.10	+15	22.10	11.10	+11	02.11	18.10	+15
протока									
р. Лены,									
Хабарово									
Яна,	10.10	28.09	+12	11.10	01.10	+10	13.10	06.10	+7
Юбилейная									

Устойчивое появление плавучего льда и ледостав были отмечены позже средних многолетних сроков на 6—11 и 6—15 дней соответственно.

Продолжительность периода с плавучим льдом составила 2—14 дней. На реке Хатанге период с плавучим льдом определить невозможно.

*Наращение льда в осенне-зимний период*

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

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

Река	Пункт	31 октября		30 ноября		31 декабря	
		$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см
Хатанга	Хатанга	19		49	+30	82	+33
Оленёк	Тюмети	15		40	+25	49	+9
	Усть-Оленёк	19		51	+32	71	+20
Лена	Кюсюр	10		35	+25	85	+50
	Хабарово	–		64	+64	96	+32
Яна	Юбилейная	17		35	+18	48	+13

В осенне-зимний период наибольшее нарастание льда с момента начала ледообразования на устьевых участках рек Оленёк, Лене (п. Хабарово) и Яне отмечалось в ноябре, а на устьевом участке рек Хатанги и Лены (п. Кюсюр) — в декабре.

Таблица 2.5.18

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2020 г.	Средняя	Аномалия
Хатанга	Хатанга	82	–	–
Оленёк	Тюмети	49	81	–32
Оленёк	Усть-Оленёк	71	104	–33
Лена	Кюсюр	85	89	–4
Лена	Хабарово	96	120	–24
Яна	Юбилейная	48	72	–24

На устьевых участках рек Оленёк, Лене и Яне толщина льда в конце декабря была меньше среднего значения на 4—33 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от 11—15 до 36—50 см.

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

***Нарастание льда в зимне-весенний период***

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

Таблица 2.5.19

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

Река	Пункт	31 января		29 февраля		31 марта		30 апреля	
		$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см
Индибирка	Чокурдах	103	+26	120	+17	134	+14	140	+6
Колыма	Колымское	69	+15	83	+14	89	+6	97	+8
	Черский	60	+4	71	+11	80	+9	85	+5

Максимальное нарастание льда в устьевой части рек бассейна Восточно-Сибирского моря наблюдалось на реках Индибирке и Колыме (п. Колымское) в январе, а на реке Колыме (п. Черский) в феврале.

В табл. 2.5.20 приведены толщина льда и ее аномалии в период, близкий к максимальному нарастанию льда, — конец апреля.

Таблица 2.5.20

Аномалии толщины льда в конце апреля на устьевых участках рек				
Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2020 г.	Среднее	Аномалия
Индиگیرка Колыма	Чокурдах	140	163	-23
	Колымское	97	140	-43
	Черский	85	138	-53

Толщина льда в конце апреля на устьевых участках рек Индиگیرки и Колымы была меньше средних многолетних значений на 23—53 см.

В конце апреля на реке Индиگیرке высота снега на льду составила 21—25 см, на реке Колыме — 26—50 см.

#### Характеристика процесса вскрытия

Закраины на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря были отмечены в конце второй — начале третьей декады мая. Подвижки на реках Индиگیرке и Колыме (п. Колымское) наблюдались в третьей декаде мая. Затоп льда на реке Индиگیرке отмечался 30 мая. На устьевых участках реки Колымы затопов не наблюдалось.

Продолжительность ледохода составила два дня в устьевой части реки Индиگیرки и от трех до пяти дней на реке Колыме.

Весенний ледоход и очищение ото льда на реках Индиگیرке и Колыме начался раньше средних многолетних сроков.

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

Таблица 2.5.21

Сроки вскрытия, очищения и их аномалии на устьевых участках рек							
Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2020 г.	Средняя	Аномалия, сут	2020 г.	Средняя	Аномалия, сут
Индиگیرка Колыма	Чокурдах	29.05	06.06	-8	31.05	09.06	-9
	Колымское	26.05	29.05	-3	29.05	04.06	-6
	Черский	24.05	01.06	-8	29.05	07.06	-9

#### Характеристика процесса замерзания

Появление заберегов на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря отмечено позже средних дат на 11—15 дней.

Таблица 2.5.22

#### Характеристика ледовых условий в осенний период на устьевых участках рек

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки	2020 г.	Средняя	Аномалия, сутки
	Индиگیرка, Чокурдах	7.10	3.10	+4	7.10	5.10	+2	12.10	9.10
Колыма, Колымское	11.10	6.10	+5	11.10	8.10	+3	12.10	12.10	0
Колыма, Черский	11.10	6.10	+5	7.10	7.10	0	12.10	10.10	+2

В табл. 2.5.22 приведены сроки наступления осенних ледовых явлений на устьевых участках рек Индигирки и Колымы и их аномалии.

Появление плавучего льда и становление ледостава на устьевых участках рек Индигирки и Колымы отмечалось в более поздние по сравнению со средними многолетними сроки — на 8—14 и 9—13 дней соответственно.

Продолжительность периода с плавучим льдом составила 0—7 дней.

*Нарастание льда в осенне-зимний период*

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

Таблица 2.5.23

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

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		$H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см	$H$ см	$\Delta H$ см
Индигирка	Чокурдах	–	54	+54	80	+26
Колыма	Колымское	–	36	+36	61	+25
	Черский	–	38	+38	72	+34

Максимальное нарастание льда (с момента начала ледообразования) на устьевых участках рек Индигирки и Колымы отмечено в ноябре.

Таблица 2.5.24

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2020 г.	Среднее	Аномалия
Индигирка	Чокурдах	80	88	–8
Колыма	Колымское	61	74	–13
	Черский	72	59	+13

В конце декабря толщина льда на устьевых участках рек Индигирки и Колымы (п. Колымское) составила на 8—13 см меньше средних многолетних значений, а на реке Колыме (п. Черский) превышала их на 13 см.

Высота снега на льду на конец декабря на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря составляла от 5 до 10 см.

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

#### 3.1. ТЕРМОХАЛИННЫЕ УСЛОВИЯ

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

Таблица 3.1.1

**Сведения о наблюдениях за температурой и соленостью воды, выполненных на акватории СЛО в 2020 г. и загруженных в БДТХ отдела океанологии ААНИИ**

№ п/п	Экспедиция/ платформа	Дата станции		Число станций
		первой	последней	
1	ИТР94	01.01.2020	18.08.2020	305
2	ИТР102	01.01.2020	31.01.2020	588
3	ИТР111	01.04.2020	05.08.2020	383
4	ИТР112	01.01.2020	29.02.2020	120
5	ИТР113	01.01.2020	17.12.2020	3463
6	ИТР114	01.01.2020	29.09.2020	2699
7	ИТР120	23.09.2020	18.12.2020	345
8	ИТР121	21.09.2020	18.12.2020	177

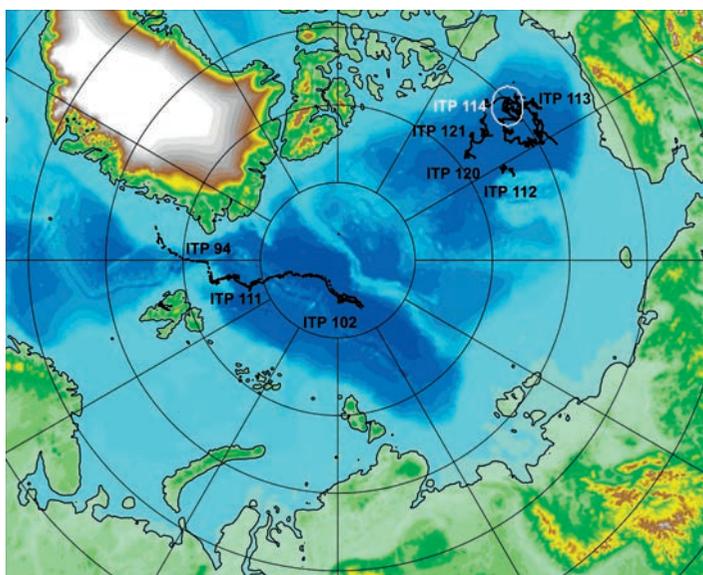


Рис. 3.1.1. Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО в 2020 г.

### Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО в 2020 г. был осуществлен анализ вертикального распределения температуры и солености воды по данным предварительно выделенной группы океанографических станций. В качестве таких станций использовались данные ИТР 114 в Канадской глубоководной котловине (рис. 3.1.1, белый контур). По данным выделенной группы 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 за период с 1900 по 2000 г. для этого же района. Область поиска исторических данных (см. рис. 3.1.1, белый контур) была на 50—100 км шире по сравнению с областью расположения океанографических станций, данные которых использовались для анализа в 2020 г.

#### Амеразийский суббассейн

В 2020 г. распределение термохалинных характеристик по глубине в Канадской глубоководной котловине по данным ИТР 114 демонстрировало наблюдающееся на протяжении последних нескольких лет аномальное состояние относительно среднего климатического.

В первом квартале 2020 г. в поверхностном слое наблюдалось существенное распреснение (27,9 ‰) в сравнении с климатической нормой (29,4 ‰). Значение отрицательной аномалии солености поверхностного слоя составило  $-1,5$  ‰ (рис. 3.1.2). В аналогичный период 2019 г. аномалия солености поверхностного слоя составила  $-2,3$  ‰, в 2018 г.  $-2,0$  ‰, в 2017 г.  $-3,1$  ‰. Температура верхнего перемешанного слоя варьировала в пределах  $-1,51$  °С и незначительно превышала климатическое среднее ( $-1,58$  °С) вследствие повышения температуры замерзания воды из-за наличия распресненного слоя.

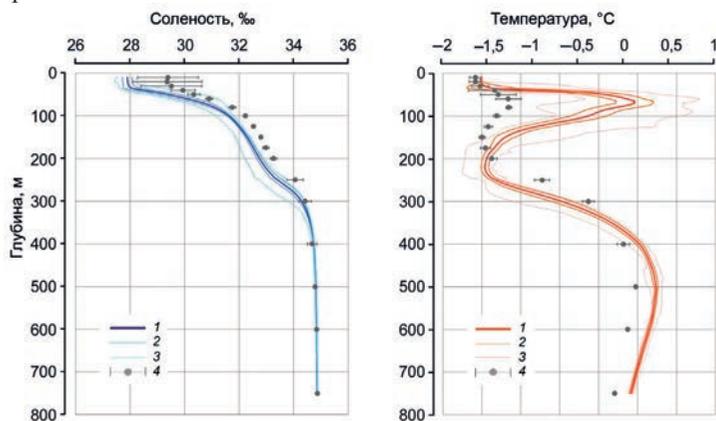


Рис. 3.1.2. Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в период январь — март 2020 г. по результатам измерений профилографа ИТР 114.

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

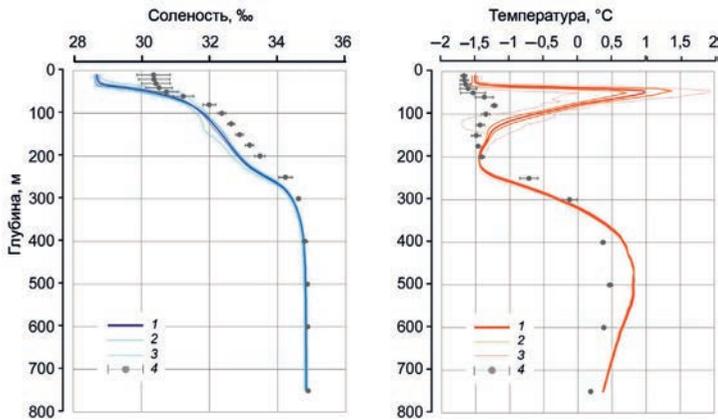


Рис. 3.1.3. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в апреле — июне 2020 г. по результатам измерений профилографа ГТР 114.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

Во втором квартале 2020 г. значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя составило  $-1,7$  ‰ (рис. 3.1.3). В аналогичный период 2019 г. аномалия солёности поверхностного слоя составила  $-3,1$  ‰, в 2018 г.  $-2,5$  ‰, в 2017 г.  $-2,1$  ‰. Температура верхнего перемешанного слоя, как и в первом квартале, варьировала в пределах  $-1,5$  °C и незначительно превышала климатическое среднее ( $-1,7$  °C).

В третьем квартале 2020 г. значение отрицательной аномалии солёности поверхностного слоя составило  $-2,0$  ‰ (рис. 3.1.4). В аналогичный период 2019 г. аномалия солёности поверхностного слоя составила  $-3,0$  ‰, в 2018 г.  $-2,3$  ‰. Температура верхнего перемешанного слоя ( $-1,2$  °C) незначительно превышала климатическое среднее ( $-1,5$  °C).

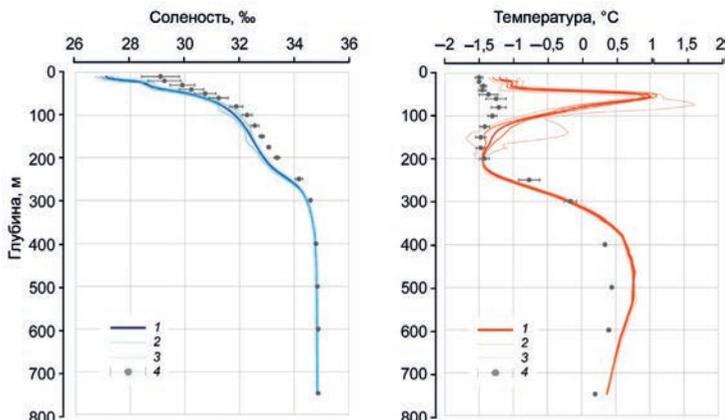


Рис. 3.1.4. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в июле — сентябре 2020 г. по результатам измерений профилографа ГТР 114.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

Под верхним перемешанным слоем, на глубине более 35—40 м, расположен слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), который является характерной особенностью Американо-Азиатского 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 114 в первом квартале 2020 г. составило 0,46 °С, превысив климатическую норму на 1,61 °С (см. рис. 3.1.2). В 2019 г. аномалия составила +1,58 °С, в 2018 г. +0,74 °С, в 2017 г. +1,5 °С. Во втором и третьем кварталах 2020 г. максимальное значение температуры слоя ЛТВ на горизонте 50—55 м составило 1,0 °С, превысив климатическую норму на 2,2 °С (см. рис. 3.1.3, 3.1.4). В 2019 г. аномалия температуры составила 1,5 °С, в 2018 г. 1,0—1,2 °С.

Согласно полученным результатам, в последние несколько лет наблюдается значительное повышение температуры ЛТВ. При этом важно отметить, что соленость ядра ЛТВ с наибольшей температурой составила в 2020 г. 30,3—30,4 ‰, что свидетельствует также о распреснении слоя ЛТВ и расширении границ выделения данной водной массы по солености.

Так же как и в предыдущие периоды, отмечалось увеличение глубины залегания нижней границы ЛТВ, которая составила 175—185 м (120 м согласно климатическим данным).

На глубине от 170 до 210 м в Канадской глубоководной котловине залегают так называемые зимние тихоокеанские воды, затекающие через Берингов пролив и смешивающиеся с водами Чукотского моря в холодный период. Эти воды в Арктическом бассейне характеризуются низкими значениями температуры и соленостью, равной 33,1 ‰, наблюдаемой в ядре данной прослойки. Характерной особенностью последних лет является заглупление ядра зимних тихоокеанских вод. По данным ИТР 114 ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 200—220 м, в то время как по климатическим данным ядро наблюдалось на глубине 150—170 м (см. рис. 3.1.2 — 3.1.4).

На глубине более 210 м в Канадской глубоководной котловине наблюдается постепенное повышение температуры воды, обусловленное теплоотдачей атлантической водной массы (АВ). Верхняя граница слоя данной прослойки (0 °С) по данным за 2020 г., как и в предыдущие годы, располагалась на глубине 315—330 м (в 2019 г. — 310 м, в 2018 г. — 325 м). Максимальное значение температуры воды в ядре АВ составило 0,74 °С (глубина 500 м) в первом квартале (см. рис. 3.1.2), 0,82 °С (глубина 470 м) во втором квартале (см. рис. 3.1.3) и 0,76 °С (глубина 465 м) в третьем квартале (см. рис. 3.1.4), что в среднем на 0,30—0,35 °С 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 Американо-Азиатском суббассейне СЛО.

### 3.2. УРОВЕНЬ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

В 2020 г. наблюдения за уровнем моря велись в Карском море на десяти станциях, шесть из которых расположены в юго-западной части моря: им. Е.К. Фёдорова (мыс Большой Болванский Нос), Амдерма, Усть-Кара, Новый Порт, им. М.В. Попова (о. Белый) и Белый Нос; четыре — в северо-восточной части моря: мыс Стерлегова и ГМО им. Е.К. Фёдорова (мыс Челюскина), о-в Диксон и Сопочная Карга. В море

Лаптевых наблюдения за уровнем моря велись на четырех станциях (Анабар, мыс Кигилях, пр. Санникова, о-в Котельный). Чукотское и Восточно-Сибирское моря наблюдениями за уровнем моря освещены не были.

На станции им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос) наблюдения велись с февраля по апрель и с августа по октябрь, на станции Усть-Кара — с января по апрель и с июля по сентябрь, на станции о-в Диксон наблюдения не проводились в июне, на станции мыс Стерлегова не было наблюдений за уровнем в июне и октябре, на станции ГМО им. Е.К. Федорова (м. Челюскина) наблюдения проводились с января по май. Также стоит отметить, что на станции им. М.В. Попова (о-в Белый) наблюдения проводились только с июля по сентябрь, а на станции Белый Нос — с июля по ноябрь. На станции Тикси наблюдения, прерванные в конце 2010 г., до сих пор не возобновлены. На станциях о-в Визе, о-ва Известий ЦИК и о-в Голомянный наблюдения, прекращенные ранее, возобновлены также не были.

Относительно полноценные наблюдения в течение года были выполнены только на трех станциях в Карском море (Амдерма, Сопочная Карга и Новый Порт) и четырех станциях в море Лаптевых.

На протяжении 2020 г. колебания уровня на всех станциях Карского моря, как в его юго-западной, так и в северо-восточной части, происходили на повышенном фоне. Аномалии среднегодового уровня составили +20 см на станции Амдерма, +19 см на станции Усть-Кара, +24 см на станции Новый Порт, +12 см на станции Сопочная Карга, +24 см на станции о-в Диксон и +24 см на станции мыс Стерлегова. Стоит отметить, что по сравнению с 2019 г. на большинстве станций Карского моря аномалия среднегодового уровня возросла на несколько сантиметров.

В море Лаптевых на станциях, расположенных на Новосибирских островах, аномалии среднегодового уровня составила +8 см на станции Кигилях, +19 см на станции пр. Санникова и +17 см на станции о-в Котельный. Здесь можно отметить явное повышение уровня на станции пр. Санникова по сравнению с 2019 г.

На станции Анабар (юго-запад моря Лаптевых) среднегодовая аномалия уровня составила +21 см (в 2019 г. +3 см).

#### *Сезонные колебания уровня арктических морей*

Как правило, сезонные колебания уровня арктических морей отличаются хорошо выраженным годовым ходом, характеризующимся минимумом весной (март — май) и максимумом осенью (сентябрь — ноябрь). В 2020 г. сезонные колебания уровня в целом были близки к типичным, однако в некоторых случаях отмечались существенные отклонения.

В Карском море на станциях Амдерма, Усть-Кара и им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос) (рис. 3.2.1) с января по апрель происходило постепенное понижение уровня. В остальные месяцы оценку изменчивости уровня моря для юго-западной части Карского моря можно производить только по данным станции Амдерма, так как на других станциях измерения высоты уровенной поверхности имели весьма нерегулярный характер. Итак, по данным со станции Амдерма с апреля по июль аномалии среднего уровня моря в целом оставались ниже +20 см, а затем до ноября происходил подъем уровня моря. В ноябре было зафиксировано одно из наивысших значений уровня моря, а именно +84 см. Однако стоит отметить, что в 2020 г. максимальное значение уровня как для станции Амдерма, так и для станции Усть-Кара было зафиксировано в январе и составило +89 и +91 см соответственно.

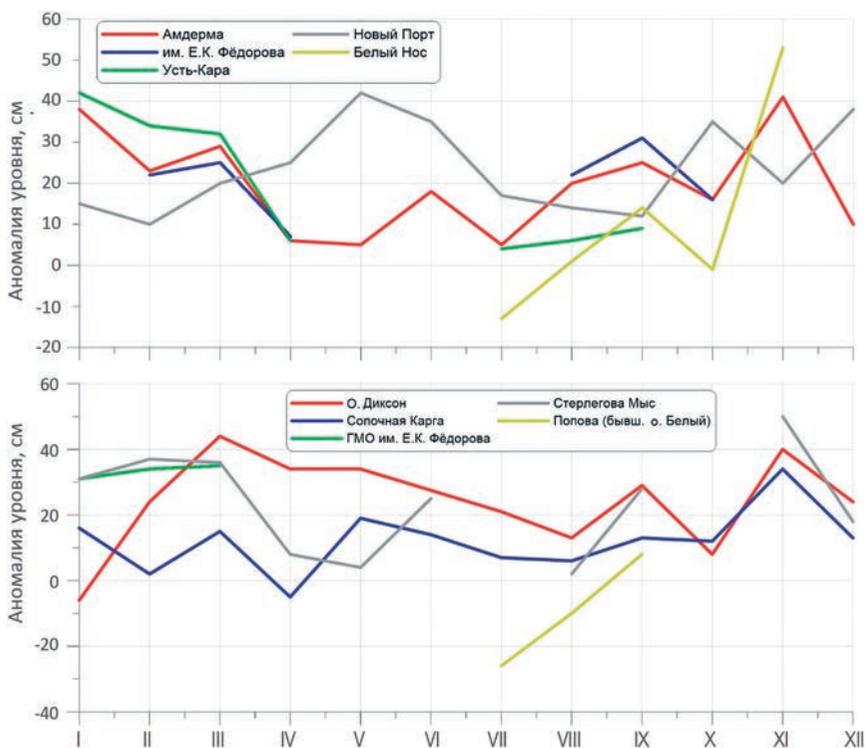


Рис. 3.2.1. Изменения среднемесячного значения уровня на станциях Карского моря в 2020 г.

По сравнению с предшествующими годами на станции Новый Порт (Обская губа) наибольшие значения уровня, связанные с началом весеннего половодья, отмечались на месяц раньше — в мае. Такая картина наблюдается при оценке среднемесячных значений, но если рассматривать экстремумы, то максимальная аномалия уровня на станции Новый Порт была, скорее всего, связана не с паводковыми, а со сгонно-нагонными явлениями, так как максимальный уровень (+80 см) наблюдался здесь 7 октября.

На станции о-в Диксон, как и в предыдущие два года, наибольшее среднемесячное значение уровня наблюдалось в марте (+44 см). При этом стоит отметить, что в январе среднемесячное значение уровня здесь было ниже среднего многолетнего.

На станции Сопочная Карга вплоть до ноября среднемесячное значение аномалии уровня моря не поднималось выше +20 см, а в апреле оно было даже ниже среднего многолетнего значения. Подъем уровня до +34 см произошел здесь в ноябре.

Имеющиеся массивы данных на многих станциях Карского моря недостаточно велики для того, чтобы в полной мере оценить общую годовую изменчивость уровня. Всего лишь на трех из девяти станций имеются полные ряды среднемесячных значений.

В юго-западной части моря Лаптевых на станции Анабар (рис. 3.2.2) в мае было зафиксировано довольно высокое значение среднемесячной аномалии уровня моря (+77 см). С июля по сентябрь уровень моря опустился ниже среднего многолетнего значения, а затем в ноябре вновь поднялся до довольно высокой отметки +54 см.

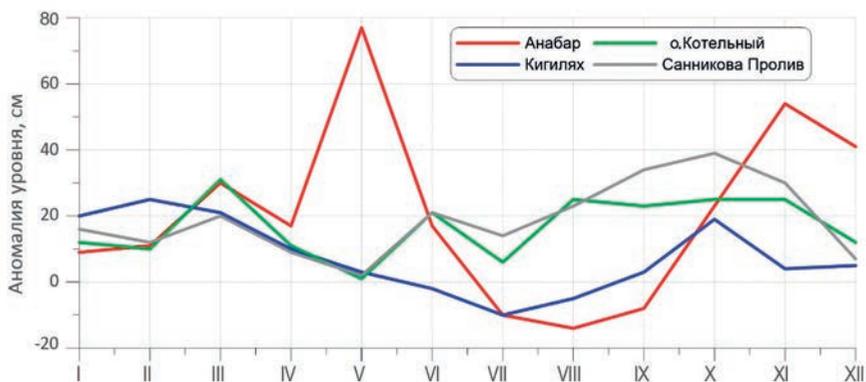


Рис. 3.2.2. Изменения среднемесячного уровня на станциях моря Лаптевых в 2020 г.

В восточной части моря Лаптевых в районе Новосибирских островов (рис. 3.2.2) с января по май уровень моря постепенно понижался. На станциях остров Котельный и пролив Санникова наименьший среднемесячный уровень наблюдался в мае, тогда как на станции Кигилях — в июле. При этом стоит отметить, что в течение трех летних месяцев на станции Кигилях наблюдались значения уровня моря ниже средних многолетних. В целом для всех станций, расположенных на Новосибирских островах, характерен хорошо выраженный сезонный ход уровня с минимумами в весенние месяцы и максимумами в осенние.

#### *Сгонно-нагонные колебания уровня*

Так же как в и последние несколько лет, в 2020 г. отмечены существенные изменения в режиме сгонно-нагонных колебаний уровня арктических морей. Ранее наиболее значительные анемобарические изменения уровня отмечались преимущественно в сентябре — октябре, реже в августе и ноябре и весьма редко в остальные месяцы года. В 2012 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в ноябре — январе или июле — августе, т. е. отмечался сдвиг пика сгонно-нагонных колебаний от осени к началу зимы и весне. То же самое наблюдалось и в 2013 г. В 2014 г. значительные сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в августе — сентябре. В 2015 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания отмечались преимущественно в ноябре — январе или июле — августе, а в 2016 и 2017 гг. — в январе — апреле. В 2018 г. самые значительные сгонно-нагонные колебания отмечались в начале и в конце года, а в 2019 г. в Карском море максимумы сгонно-нагонных колебаний наблюдались в различные периоды времени в зависимости от района, где располагается та или иная станция.

Довольно сложно провести оценку сгонно-нагонных колебаний уровня за 2020 г. для всей юго-западной части Карского моря в связи с тем, что полный набор данных за весь год имеется только для станции Амдерма. На этой станции максимальный сгон наблюдался в конце года (–68 см). Также стоит отметить сгон до –48 см, который наблюдался в начале апреля, причем не только на станции Амдерма, но и на станциях Усть-Кара и им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос). Что касается нагонов, то наиболее высокая вода на станциях Амдерма и Усть-Кара наблюдалась 11—13 января (+91 и +89 см соответственно). Кроме того, следует отметить подъем воды 7 марта, когда на станциях Амдерма и им. Е.К. Федорова (мыс Большой Болванский Нос) уровень повысился до +77 см, а на станции Усть-Кара — до +88 см.

Как уже отмечалось выше, в Обской губе по данным станции Новый Порт наибольший нагон наблюдался 7 октября (+80 см). Минимальный уровень здесь был зафиксирован 11 сентября и составил –31 см.

На востоке Карского моря, по данным станций о-в Диксон и мыс Стерлегова, в течение года наблюдались два наиболее значительных сгона воды: 12 августа уровень опустился на 54 см ниже средней многолетней отметки, а 29—30 декабря — на 47 см ниже. Кроме того, на станции о-в Диксон сгоны были зафиксированы 1 января (–41 см) и 21 октября (–43 см). На станции мыс Стерлегова наибольший сгон наблюдался 24 апреля (–79 см). Наибольший и довольно длительный нагон воды в восточной части Карского моря наблюдался с 30 ноября по 5 декабря. На станции мыс Стерлегова 30 ноября вода поднялась на 130 см выше среднего многолетнего значения, а на станции остров Диксон 5 декабря аномалия уровня достигла значения +131 см.

На западе моря Лаптевых, по данным станции Анабар, наибольшие сгоны наблюдались с июня по октябрь, когда уровень моря опускался на 87 см ниже средней многолетней отметки. Наибольший нагон здесь наблюдался 30 мая, когда аномалия уровня моря возросла до +157 см.

На востоке моря Лаптевых для станций пр. Санникова и остров Котельный можно выделить два наибольших сгона воды. Они были зафиксированы в середине мая, когда на станциях пр. Санникова и о-в Котельный уровень опустился до –39 и 52 см соответственно, а также 12 ноября (–37 и –60 см соответственно). На станции мыс Кигилях наибольший сгон наблюдался 13 июля, когда вода опустилась до отметки –85 см. Наиболее заметный нагон в восточной части моря Лаптевых наблюдался на всех трех станциях в период с 1 по 4 октября, когда уровень повысился на станции мыс Кигилях до +111 см, на станции пр. Санникова до +68 см, а на станции остров Котельный до +70 см.

Оценить сгонно-нагонные колебания уровня в Восточно-Сибирском и Чукотском морях на протяжении всего 2020 г. невозможно в связи с отсутствием наблюдений.

#### *Многолетние изменения уровня арктических морей*

Практически во всех районах арктических морей колебания уровня моря до 1985 г. носили стационарный характер и линейный тренд уровня в этот период был близок к нулю или вовсе был отрицательным (табл. 3.2.1). Его значение для разных станций составляло от –0,193 до 0,061 см/год при среднем значении –0,059 см/год.

Таблица 3.2.1

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

Район	Станция	Период, годы		
		1950—2020	1950—1985	1985—2020
ЮЗ Карского моря	Амдерма	0,431	0,013	0,637
	Усть-Кара	0,263	–0,041	0,363
Восток Карского моря	Диксон	0,264	–0,017	0,149
	Стерлегова	0,160	0,061	0,117
	Сопочная Карга	0,234	–0,160	0,232
Новосибирские острова	Санникова	0,189	–0,076	0,288
	Кигилях	0,110	–0,193	0,272
Среднее		0,235	–0,059	0,294

После 1985 г. характер колебаний уровня на станциях арктических морей существенным образом изменился (рис. 3.2.3): в 1985 г. началось резкое повышение уровня моря, и в конце 1980-х — начале 1990-х годов его колебания происходили на повышенном фоне. Затем наблюдалось понижение уровня моря, и во многих районах арктических морей он даже вернулся к средним значениям. Однако в конце 1990-х — начале 2000-х годов уровень моря вновь стал повышаться и в период 2005—2009 гг. достиг наблюдавшихся ранее максимумов и даже превысил их.

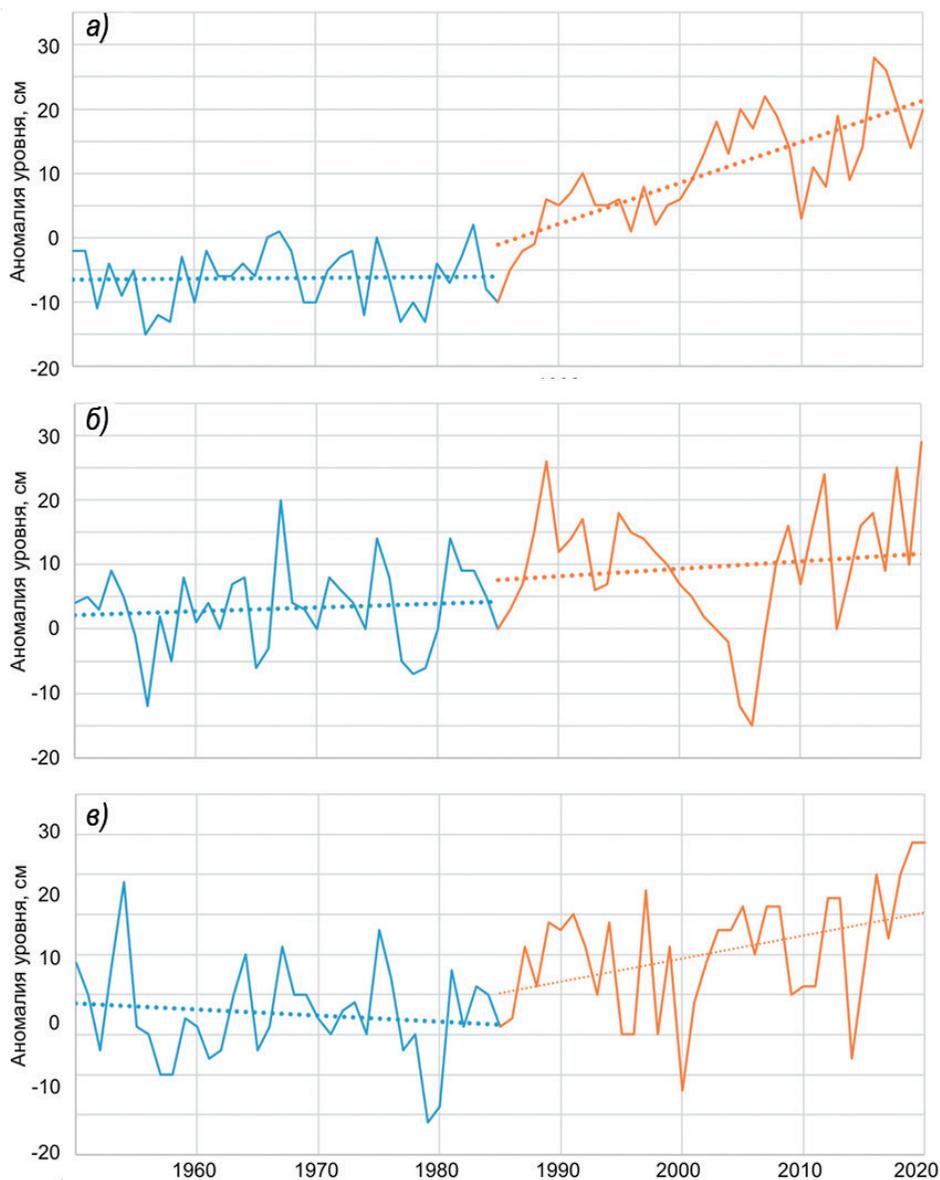


Рис. 3.2.3. Аномалия среднегодового уровня моря в районе Новосибирских островов на станциях Амдерма (а), мыс Стерлегова (б) и пролив Санникова (в).

В 2010 г. уровень моря снова понизился до отметок, близких к средним значениям, после чего опять началось его повышение, носившее в период 2011—2015 гг. в разных районах арктических морей различный характер.

В юго-западной части Карского моря наблюдалось хорошо выраженное повышение уровня с возвратом к максимумам 2005—2009 гг. В 2013 г. в этом районе был зафиксирован исторический максимум уровня, перекрытый в 2016 г. Затем в 2017 г. уровень незначительно опустился, хотя сохранялся повышенный фон. В 2018 и 2019 гг. уровень немного повысился по сравнению с 2017 г. В восточной части Карского моря тенденции к повышению уровня были выражены слабо и, скорее, носили характер слабых колебаний на повышенном фоне.

В районе Новосибирских островов после подъема уровня моря с максимумом в 2012 г. произошло резкое понижение уровня с минимумом в 2014 г. В 2015 г. средний уровень моря несколько повысился, и в 2016 и 2017 гг. это повышение продолжилось. В 2018 г. среднегодовой уровень достиг максимального за последние годы значения, а в 2019 г. вновь несколько понизился.

Значение тренда за период 1985—2020 гг. для различных станций, расположенных на побережье арктических морей, составило от 0,117 до 0,637 см/год при среднем значении 0,294 см/год. При этом наиболее значительный тренд был зафиксирован, как и ранее, в юго-западной части Карского моря. Величина тренда возросла в связи с повышением уровня моря в 2020 г.

Основной причиной таких изменений в характере колебаний уровня арктических морей можно считать изменения макроциркуляционных процессов, происходившие в атмосфере Северного полушария. Увеличение повторяемости и интенсивности циклонов, проходящих над акваторией арктических морей, привело к усилению циклонической циркуляции, характерной для этих морей, и, следовательно, к понижению уровня моря в центре циркуляции и повышению его вдоль побережий. Иными словами, основная причина повышения уровня арктических морей имеет динамический характер. Результаты последних исследований показывают, что определенное значение имеют также и геофизические факторы.

### **3.3. ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ НА АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ**

Ввиду отсутствия продолжительных инструментальных измерений волнения в арктических морях России обзор ветрового волнения основывается на результатах модельных расчетов и прогнозов. Мониторинг ветроволновых условий осуществляется посредством ежедневного использования авторской спектрально-параметрической модели AARI-PD2, разработанной в ЛО ГОИН и модифицированной в ААНИИ. Район российской Арктики аппроксимируется двумя большими расчетными областями с шагом  $1,0^\circ$  по долготе и  $0,5^\circ$  по широте. Первая расчетная область включает в себя Баренцево и Карское моря (западный сектор), а вторая – моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское (восточный сектор). Основными исходными данными модели являлись поля атмосферного давления на уровне моря (или поля составляющих скорости ветра на высоте 10 м), температура воздуха на высоте 2 м, а также батиметрические данные в узлах расчетной сетки. Исходные данные оперативно поступают из метеорологического центра Брэкнелл (Великобритания, EGRR) в ААНИИ в центр коммутации сообщений (ЦКС UNIMAS) автоматизированной системы передачи данных (АСПД) Росгидромета (формат данных GRIB1). Положение кромки льда

при расчетах задавалось по ежедневным спутниковым многоканальным микроволновым данным (SSM/I) и уточнялось по данным реанализа сплоченности льда ААНИИ.

По результатам модельных расчетов была выполнена оценка повторяемости значений максимумов значительной высоты волн ( $H_s$ , significant wave height) обеспеченностью 13 % на акватории арктических морей России для отдельных месяцев года. Сведения о распределении величины  $H_s$  для Баренцева моря приведены в табл. 3.3.1, для Карского моря — в табл. 3.3.2, для акватории морей восточной части Арктики (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского) — в табл. 3.3.3 — 3.3.5.

#### *Баренцево море*

Из табл. 3.3.1 видно, что на акватории Баренцева моря в 2020 г. преобладало волнение с высотой волн от 3 до 4 м (28 % случаев). Повторяемость ( $P$ ) случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составила в 2020 г. 17 %. Это значение выше по сравнению с 2019 г. За период с 2007 по 2019 г. повторяемость  $P$  составила:

Год...	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
$P$ , %...	30	27	24	23	16	13	10	8	15	11	13	13	9

Самым штормовым месяцем в Баренцевом море в 2020 г. стал декабрь (13 штормовых дней с высотой волн более 5 м). Наиболее продолжительный штормовой период в декабре составил 10 дней (с 22 по 31 декабря).

Максимальная значительная высота волн (более 8 м) по результатам расчетов была получена для пограничной с Норвежским морем западной части Баренцева моря на 00 ч UTC 25 марта 2020 г. Это значение на 1,5 м ниже, чем в 2019 г. Продолжительность шторма составила пять дней (с 22 по 26 марта).

В феврале, марте, ноябре и декабре значительная высота волн пять раз превышала 7,0 м (1 и 18 февраля, 24 марта, 17 ноября и 28 декабря). На рис. 3.3.1 в качестве примера приведено поле ветра и значительной высоты волн  $H_s$  на акватории Баренцева моря на 12 ч UTC 1 февраля 2020 г.

*Таблица 3.3.1*

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

Месяц	Высота волн, м									
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10
Январь	—	—	3	5	12	9	2	—	—	1
Февраль	—	3	5	6	6	6	1	2	—	—
Март	—	—	2	10	9	5	3	1	1	1
Апрель	—	4	5	13	3	4	1	—	—	—
Май	—	11	9	4	6	1	—	—	—	—
Июнь	—	3	16	8	3	—	—	—	—	—
Июль	—	13	15	3	—	—	—	—	—	—
Август	—	4	15	8	4	—	—	—	—	—
Сентябрь	—	3	13	11	3	—	—	—	—	—
Октябрь	—	1	6	19	5	—	—	—	—	—
Ноябрь	—	1	1	9	7	9	2	1	—	1
Декабрь	—	1	2	5	10	8	4	1	—	—
Итого за год	—	44	92	101	68	42	13	5	1	3

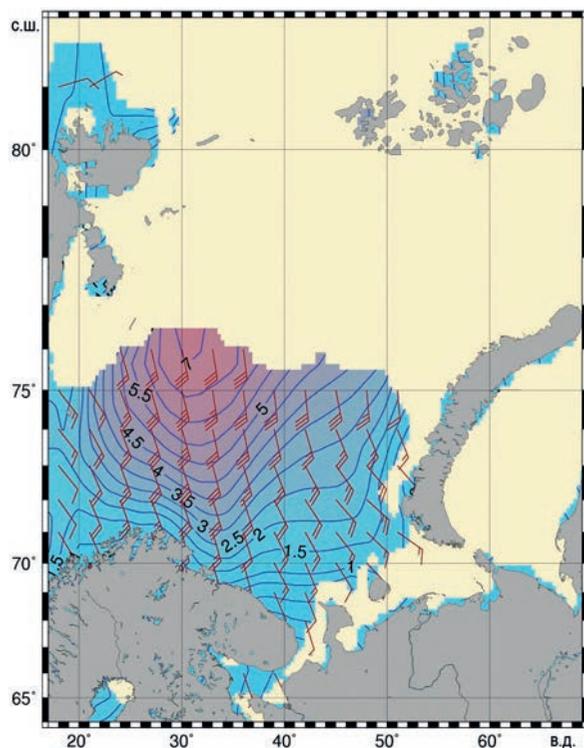


Рис. 3.3.1. Поля ветра и высоты волн ( $H_s$ , м) на акватории Баренцева моря на 12 ч UTC 1 февраля 2020 г.

### *Карское море*

Карское море в 2020 г. начало открываться во второй декаде мая. Как видно из табл. 3.3.2, в Карском море в 2020 г. в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 1 до 2 м (36 % случаев). Наиболее штормовыми месяцами стали октябрь и ноябрь. Максимальная значительная высота волн трижды за эти месяцы превышала 7,0 м (29 октября на 18 ч, 30 октября на 00 ч и 17 ноября на 12 и 18 ч UTC). Это значение на 2,5 м выше по сравнению с 2019 г.

Таблица 3.3.2

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

Месяц	Высота волн, м							
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8
Май (с 10 мая)	11	8	3	—	—	—	—	—
Июнь	3	20	7	—	—	—	—	—
Июль	7	20	4	—	—	—	—	—
Август	—	15	12	4	—	—	—	—
Сентябрь	—	6	13	9	2	—	—	—
Октябрь	—	4	9	13	2	1	—	2
Ноябрь	—	1	15	8	4	—	1	1
Декабрь	2	11	5	9	4	—	—	—
Итого	23	85	68	43	12	1	1	3

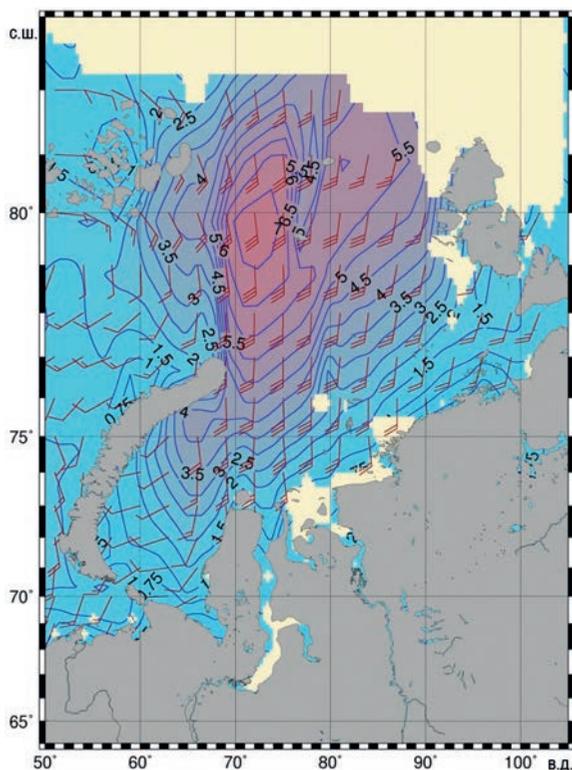


Рис. 3.3.2. Поля ветра и высоты волн ( $H_s$ , м) на акватории Карского моря на 18 ч UTC 29 октября 2020 г.

Карское море почти полностью очистилось ото льда к середине августа, а к середине сентября граница области чистой воды доходила до параллели 85° с.ш.

В конце октября — начале ноября Карское море стало закрываться, и к концу декабря остались открытыми лишь небольшая юго-западная часть моря и пр. Карские Ворота (для сравнения в 2019 г. Карское море закрылось в середине декабря).

На рис. 3.3.2, в качестве примера, приведены поля ветра и высоты волн  $H_s$  на акватории Карского моря на 18 ч UTC 29 октября 2020 г.

#### *Моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское*

Поскольку большую часть года моря восточной части Арктики покрыты льдом, то в табл. 3.3.3 — 3.3.5 приведено распределение значительной высоты волн только для тех месяцев 2020 г., когда площадь свободных ото льда акваторий позволяла выполнить оценки основных характеристик волнения. В таблицах учтены случаи ветрового волнения на акваториях морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского на открытой воде до кромки льда.

Из табл. 3.3.3 — 3.3.5 видно, что в морях Лаптевых и Чукотском в 2020 г. преобладало волнение с высотой волн от 1 до 3 м (62 и 61 % соответственно), а в Восточно-Сибирском море — с высотой волн от 1 до 2 м (39 %).

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

Таблица 3.3.3

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн ( $H_s$ ) в море Лаптевых в 2020 г.**

Месяц	Высота волн, м							
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8
Июнь	16	14	—	—	—	—	—	—
Июль	—	12	12	6	1	—	—	—
Август	2	15	10	4	—	—	—	—
Сентябрь	—	7	18	5	—	—	—	—
Октябрь	—	2	6	14	5	1	2	1
Ноябрь (до 7 ноября)	3	1	2	1	—	—	—	—
Итого	23	85	68	43	12	1	1	3

Таблица 3.3.4

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн ( $H_s$ ) на акватории Восточно-Сибирского моря в 2020 г.**

Месяц	Высота волн, м							
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8
Июнь	22	8	—	—	—	—	—	—
Июль	5	22	4	—	—	—	—	—
Август	2	20	8	1	—	—	—	—
Сентябрь	—	10	19	1	—	—	—	—
Октябрь	—	2	8	10	7	1	—	3
Ноябрь (до 10 ноября)	—	2	3	3	2	—	—	—
Итого	29	64	42	15	9	1	—	3

Таблица 3.3.5

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн ( $H_s$ ) в Чукотском море в 2020 г.**

Месяц	Высота волн, м							
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8
Май (с 25 мая)	6	1	—	—	—	—	—	—
Июнь	11	14	5	—	—	—	—	—
Июль	1	19	9	2	—	—	—	—
Август	4	20	5	2	—	—	—	—
Сентябрь	—	2	24	3	1	—	—	—
Октябрь	—	4	9	8	8	—	2	—
Ноябрь	—	1	6	13	3	5	1	1
Декабрь (до 24 декабря)	—	3	5	6	4	—	—	—
Итого	22	64	63	34	16	5	3	1

Наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых составила более 7,5 м (на 06 и 12 ч UTC 17 октября), что на 3,5 м больше, чем в 2019 г.

Наибольшая расчетная высота волн в Восточно-Сибирском море также превышала 7,5 м (на 00, 06, 12 и 18 ч UTC 17 октября и на 00 ч UTC 18 октября), что на 3,0 м больше, чем в 2019 г. Шторм в море продолжался четыре дня (с 15 по 18 октября).

Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила более 7,0 м (25 ноября на 18 ч UTC), что на 1,5 м больше, чем в 2019 г.

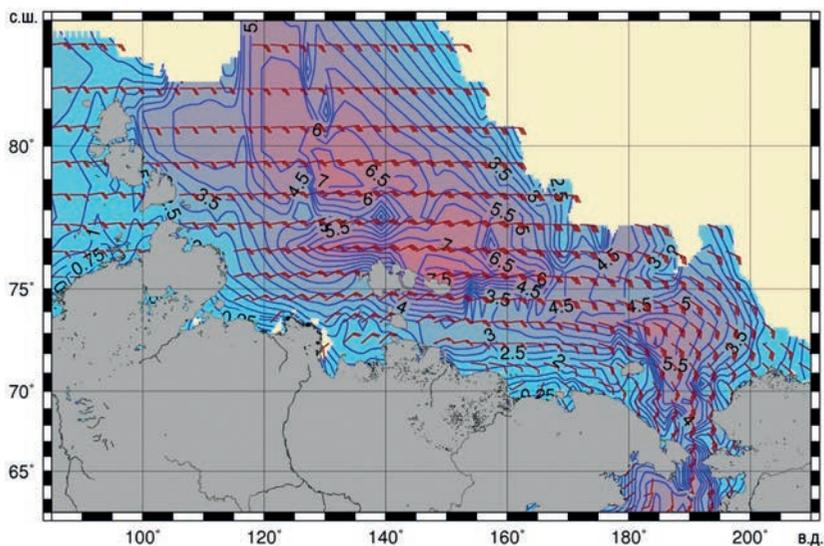


Рис. 3.3.3. Поля ветра и высоты волн ( $H_s$ , м) в морях восточной части Арктики на 06 ч UTC 17 октября 2020 г.

Море Лаптевых стало открываться в конце мая в западной части, у берегов Северной Земли и Таймырского п-ова. Область чистой воды постепенно расширялась и к концу июня заняла обширную часть моря в широтной зоне от 74 до 78° с.ш. Море Лаптевых полностью освободилось ото льда в конце июля — начале августа, а во второй половине сентября область чистой воды доходила в море Лаптевых до 83—84° с.ш. Закрылось море Лаптевых очень быстро в первой декаде ноября.

Восточно-Сибирское море стало медленно открываться в июне к северу от Новосибирских островов. В июле этот процесс заметно активизировался, и в конце июля вся южная часть моря была свободна ото льда. Полностью море освободилось ото льда во второй половине августа. К концу сентября область чистой воды в Восточно-Сибирском море доходила до 78—83° с.ш. Закрылось Восточно-Сибирское море в первой половине ноября.

Чукотское море стало открываться в конце мая. Область чистой воды в Чукотском море распространилась в конце июня до параллели 71° с.ш., в июле — августе до 73—74° с.ш., а к концу сентября до 78—79° с.ш. Закрылось Чукотское море во второй декаде декабря.

Отличительной особенностью 2020 г. стали высокие значения расчетной значительной высоты волн (более 7,5 м) в середине октября в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском. В Чукотском море в это время ее значения превышали 6,0 м. На рис. 3.3.3 в качестве примера приведены поля ветра и высоты волн  $H_s$  для морей восточной части Арктики на 06 ч UTC 17 октября 2020 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая данные мониторинга развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов и характера их проявления в метеорологических условиях полярного района Арктики за период январь — декабрь 2020 г., можно сделать следующие основные выводы.

В 2020 г. в атлантико-евразийском секторе Северного полушария произошла перестройка направленности крупномасштабных атмосферных процессов от преобладания меридиональной формы циркуляции к повышению повторяемости зональных процессов западной формы циркуляции. В тихоокеано-американском секторе сохранилась аномально высокая повторяемость меридиональных процессов типа  $M_1$ .

Циклоны в системе исландского и алеутского минимумов смещались в полярный район Арктики чаще по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям, что способствовало формированию отрицательных среднегодовых значений аномалии давления. Наиболее активная циклоническая деятельность наблюдалась на акваториях морей российской Арктики: Баренцевом и Карском.

Потепление в высоких широтах сохраняется: фон температуры воздуха в среднем по полярному району в 2020 г. по сравнению с предшествующим 2019 г. повысился на 0,4 °С, но оказался на 1 °С ниже, чем в экстремально теплом 2016 г.

На трассе СМП арктических морей России в 2020 г. в течение всего года преобладали положительные аномалии температуры воздуха. По сравнению с предшествующим 2019 г. в 2020 г. наиболее значительное повышение (на 3 °С) температурного фона было отмечено на акватории Карского моря, где сформировался наиболее высокий фон температуры воздуха на трассе СМП. Незначительное понижение температурного фона отмечалось только на акватории Чукотского моря.

Результаты мониторинга состояния приземной атмосферы в Северной полярной области позволяют сделать вывод о сохранении в последние годы тенденции к потеплению в высоких широтах.

Развитие ледовых условий происходило следующим образом.

В предшествующий осенний период 2019 г. при позднем начале ледообразования отмечалось большая интенсивность развития ледяного покрова. Наблюдалось интенсивное увеличение площади распространения льдов (на 27 % больше нормы), притом что по толщине лед нарастал медленнее по сравнению с нормой. В результате осенних процессов нарастания ледяного покрова существенно уменьшилась отрицательная аномалия площади льда (до -3,5 %), которая в середине сентября, на момент максимального сокращения ледяного покрова, составляла -29 %.

Сезонный ход ледовитости в СЛО показывает, что общее количество льдов в течение зимнего и весеннего периодов было близко к средним многолетним значениям для длинного ряда наблюдений (1978—2020 гг.). Однако в конце весеннего и в летний период общая площадь льдов существенно сократилась, превысив на 323 тыс. км<sup>2</sup> показатели аномально легкого 2012 г. Основной вклад в формирование легких ледовых условий в течение года вносили моря западного меридионального сектора 95° в.д. — 170° з.д. (Гренландское, Баренцево и Карское моря).

Площадь ледяного покрова в СЛО в середине сентября, на период его максимального сокращения, стала второй по рангу в группе легких лет.

Развитие ледовых условий в 2020 г. сохранило тенденцию, наблюдающуюся в последние несколько лет. После аномально легкого развития ледовых условий в 2012 г. во все последующие годы, включая 2020 г., наблюдалось развитие умеренно малой ледовитости (на 5—10 % меньше средних многолетних значений) в течение всего года, кроме летнего периода. В летний период происходило значительное сокращение ледовитости и формировались аномально легкие ледовые условия (формировалась аномалия ледовитости на 25—35 % меньше средних многолетних значений). В то же время в осенний сезон года (в ноябре — декабре) стали наблюдаться очень интенсивное ледообразование и аномальное увеличение площади ледяного покрова.

Летом гидрометеорологические и ледовые условия в СЛО и его морях продолжали развиваться на благоприятном фоне, который сформировался в начале летнего периода и особенно хорошо проявился в окраинных морях российского сектора Арктики.

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...–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 средних многолетних сроков. Припай среди островов Канадского Арктического архипелага в течение июля частично взломался, но сохранялся до конца июля.

В возрастном составе льдов наблюдалось дальнейшее сокращение количества однолетних толстых льдов в окраинных морях. Одновременно происходил 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 оказались экстремальными для середины июля за весь ряд наблюдений.

Толщина льда в конце декабря 2020 г. на устьевом взморье рек Оби и Енисей была меньше средних многолетних значений на 14—38 см.

Высота снега на льду на конец декабря составила на устьевом взморье реки Енисей 5—9 см, на устьевом взморье реки Оби 30—39 см.

На устьевых участках рек Оленёк, Лене и Яне толщина льда в конце декабря составила на 4—33 см меньше среднего многолетнего значения.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от 11—15 до 36—50 см.

В конце декабря толщина льда на устьевых участках рек Индигирки и Колымы (п. Колымское) была на 8—13 см меньше средних многолетних значений, а на реке Колыме (п. Черский) превышала среднее на 13 см.

Высота снега на льду на конец декабря на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря составляла от 5 до 10 см.

Гидрологический режим СЛО и его морей характеризовался следующими особенностями.

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2020 г., гидрологический режим СЛО (в районе Канадской глубоководной котловины) продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему.

Распределение солености поверхностного слоя характеризуется наличием выраженной отрицательной аномалии в Американо-Сибирском суббассейне, которая в течение года изменялась от  $-1,5\text{‰}$  в первом квартале до  $-2,0\text{‰}$  в третьем.

Сохраняется положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ), значение которой в Канадской глубоководной котловине составило  $+0,3\text{ °C}$  (первый квартал),  $+0,35\text{ °C}$  (второй квартал) и  $+0,32\text{ °C}$  (третий квартал).

Так же как и АВ, летние тихоокеанские воды характеризуются повышенной температурой, превышающей климатическое среднее на  $1,6\text{ °C}$  в первом квартале и на  $2,2\text{ °C}$  во втором и третьем кварталах. Отдельно стоит отметить наблюдавшееся во втором квартале 2020 г. распределение летних тихоокеанских вод, при котором соленость на верхней границе данного слоя составила  $29\text{‰}$ .

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

- на протяжении 2020 г. колебания уровня арктических морей в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения;
- по сравнению с 2019 г. на большинстве станций Карского моря аномалия среднегодового уровня возросла на несколько сантиметров;
- для большинства станций арктических морей сезонные колебания уровня в целом были близки к типичным и отличались хорошо выраженным годовым ходом с минимумом в весенний период и максимумами в осенний;
- в 2020 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания уровня наблюдались в различных районах в разное время: в Карском море сильные нагоны зафиксированы в январе и декабре, а сгоны — в апреле и декабре; в море Лаптевых максимальные нагоны наблюдались в начале октября, а сгоны — в мае и ноябре;
- в межгодовой изменчивости уровня сохраняется положительная тенденция на всех станциях морей Карского и Лаптевых.

Анализ результатов модельных расчетов значительной высоты волн ветрового волнения ( $H_s$ ) за 2020 г. на акватории арктических морей России показал следующее.

В Баренцевом море преобладало волнение с высотой волн от 3 до 4 м. Повторяемость случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составила в 2020 г.  $17\%$ . Это значение выше по сравнению с 2019 г. Наиболее штормовым месяцем на акватории Баренцева моря в 2020 г. стал декабрь. Число штормовых дней с высотой волн более 5 м в декабре составило тринадцать. Максимальная высота волн (более 8 м) была рассчитана для западной части Баренцева моря на 25 марта 2020 г. Продолжительность шторма составила пять дней (с 22 по 26 марта).

На акватории Карского моря в 2020 г. в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высоты волн от 1 до 2 м. Наиболее штормовыми месяцами стали октябрь и ноябрь. Максимальная высота волн трижды за эти месяцы превышала

7,0 м (29 и 30 октября, 17 ноября). Карское море почти полностью очистилось ото льда к середине августа, а к середине сентября граница области чистой воды доходила до параллели 85° с.ш. В конце октября — начале ноября Карское море стало закрываться, и к концу декабря остались открытыми лишь небольшая юго-западная часть моря и пр. Карские Ворота (для сравнения в 2019 г. Карское море закрылось в середине декабря).

В море Лаптевых преобладало волнение с высотой волн от 1 до 3 м, наиболее штормовым месяцем для моря Лаптевых стал октябрь, максимальная расчетная высота волны составила в октябре более 7,5 м.

В Восточно-Сибирском море преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м. Наиболее штормовым месяцем для Восточно-Сибирского моря стал октябрь, максимальная расчетная высота волны составила в октябре более 7,5 м.

В Чукотском море преобладало волнение от 1 до 3 м. Наиболее штормовыми месяцами для Чукотского моря стали ноябрь и октябрь, а наибольшая расчетная высота волн пришлась на ноябрь (более 7,0 м).

Отличительной особенностью 2020 г. стала большая расчетная высота волн (более 7,5 м) в середине октября в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском (в Чукотском море в это время она превышала 6,0 м).

Море Лаптевых стало открываться в конце мая в западной части, у берегов Северной Земли и Таймырского п-ова. Море Лаптевых полностью освободилось ото льда в конце июля — начале августа, а во второй половине сентября область чистой воды доходила в море Лаптевых до 83—84° с.ш. Закрылось море Лаптевых очень быстро в первой декаде ноября.

Восточно-Сибирское море стало медленно открываться в июне к северу от Новосибирских островов. Полностью море освободилось ото льда во второй половине августа. К концу сентября область чистой воды в Восточно-Сибирском море доходила до 78—83° с.ш. Закрылось Восточно-Сибирское море в первой половине ноября.

Чукотское море стало открываться в конце мая. Область чистой воды в Чукотском море распространилась в конце июня до параллели 71° с.ш., в июле — августе до 73 — 74° с.ш., а к концу сентября до 78 — 79° с.ш. Закрылось Чукотское море во второй декаде декабря.