

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
2023**

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

1834
190 лет
ГИДРОМЕТСЛУЖБЕ РОССИИ
2024

Санкт-Петербург
ААНИИ
2024

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северной полярной области, Северном Ледовитом океане и его морях в 2023 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. Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь — декабрь 2023 г.....	6
2. Ледовые условия и процессы на акватории Северного Ледовитого океана и его морей.....	15
2.1. Развитие ледовых условий в зимний период (январь — март)	16
2.2. Развитие ледовых условий в весенний период (апрель — июнь)	25
2.3. Развитие ледовых условий в летний период (июль — сентябрь).....	33
2.4. Развитие ледовых условий в осенний период (октябрь — декабрь)	41
2.5. Ледово-гидрологические процессы в устьевых областях рек	50
3. Гидрологические условия на акватории Северного Ледовитого океана и его морей	61
3.1. Термохалинные условия	61
3.2. Уровень арктических морей	64
3.3. Ветровое волнение на акватории арктических морей	70
Заключение	76

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в 2023 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, научно-исследовательских судах (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 лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов (ответственный — зав. лабораторией канд. геогр. наук В.В. Иванов).

Ледовый раздел посвящен описанию развития ледяного покрова и особенностям ледовых явлений в Северном Ледовитом 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);

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);
И.В. Рыжов, младший научный сотрудник (п. 3.2)
В.А. Меркулов, научный сотрудник (п. 3.3);
В.И. Дымов, заведующий лабораторией (п. 3.3);
Н.П. Яковлева, научный сотрудник (п. 3.3).

1. МОНИТОРИНГ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛЯРНОМ РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗА ПЕРИОД ЯНВАРЬ — ДЕКАБРЬ 2023 г.

В настоящем разделе приводятся основные результаты мониторинга развития атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба и связанных с ними изменений метеорологических условий в полярном районе Северного полушария за период с января по декабрь 2023 г.

При анализе крупномасштабных процессов 2023 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 2023 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 и рис. 1.1, 1.2), карт среднегодовых полей геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, приземных значений давления и температуры воздуха и их аномалии (рис. 1.1.3 — 1.1.8). Расчеты среднегодовых значений метеорологических показателей проводились по данным диагноза глобальной прогностической системы метеослужбы США (NOAA и NWS). Расчеты значений аномалии давления и температуры воздуха проводились относительно новых норм за период с 1991 по 2020 г.

Для ретроспективного анализа климатических условий и периодов потепления и похолодания в полярном районе были использованы среднемесячные и среднегодовые значения аномалии температуры воздуха, рассчитанные в узлах регулярной сетки ($5 \times 10^\circ$) в зоне $70\text{—}85^\circ$ с.ш. вокруг всего Арктического региона. Анализ многолетней изменчивости среднегодовых и среднемесячных значений аномалии давления для центрального полярного района проводился по данным осредненных аномалий давления, рассчитанных в узлах регулярной сетки ($5 \times 10^\circ$) в полярной зоне $80\text{—}85^\circ$ с.ш., которая в полярном районе наиболее часто находится под влиянием арктического антициклона.

Таблица 1.1

**Годовые значения числа дней с формами и типами циркуляции
и их отклонение от нормы в 2022 и 2023 гг.**

Год	Индекс циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	W	C	E	3	M ₁	M ₂
2023	125	69	171	56	155	154
2022	111	106	148	80	119	166
Разность	14	–37	23	–24	36	–12

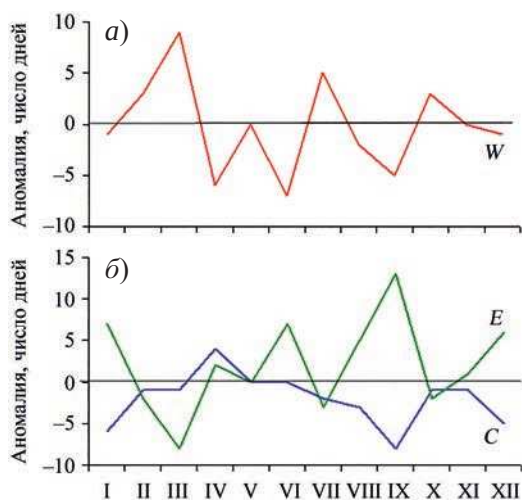


Рис. 1.1. Годовой ход среднемесячных значений аномалии числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в атлантико-евразийском секторе в 2023 г. *W* — западная (зональная) форма, *C* — меридиональная форма, *E* — восточная (меридиональная) форма.

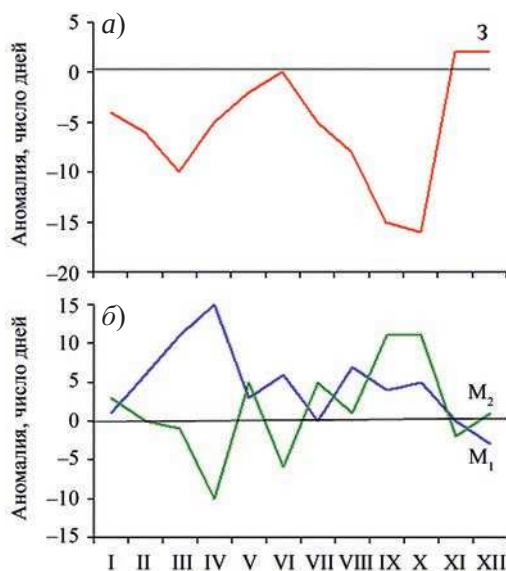


Рис. 1.2. Годовой ход среднемесячных аномалий числа дней с зональной (а) и меридиональными (б) формами циркуляции в тихоокеано-американском секторе в 2023 г. *3* — зональная форма, *M₁* — первая меридиональная форма, *M₂* — вторая меридиональная форма.

В первом секторе Северного полушария в 2023 г., как и в предшествующем году, в большинстве месяцев преобладали крупномасштабные атмосферные процессы восточной формы циркуляции. При этом число дней с данной формой в этом году увеличилось на 23 дня.

Во втором секторе Северного полушария произошла перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от меридиональных процессов

типа M_2 к процессам типа $M1$. Число дней с меридиональными процессами типа M_1 в 2023 г. увеличилось на 36 дней.

Отмеченные особенности в изменении крупномасштабных атмосферных процессов нашли отражение в метеорологических условиях как в целом для полярного района, так и для акватории морей российской Арктики.

Средние за 2023 г. значения геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа и его аномалии относительно нормы представлены на рис. 1.3 и 1.4.

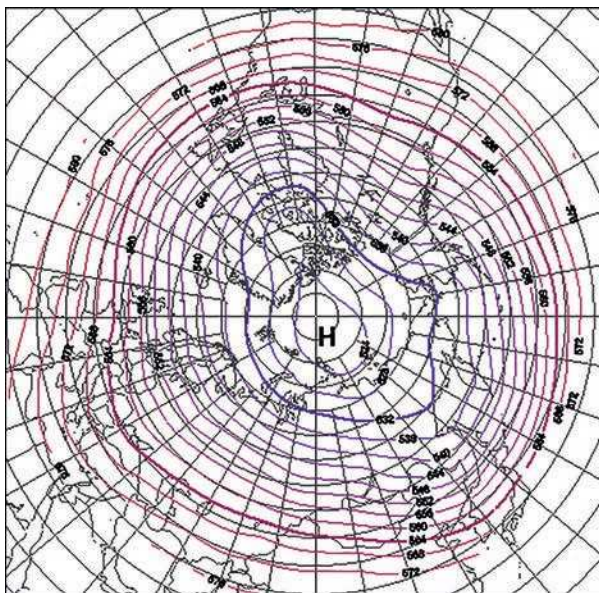


Рис. 1.3. Поле среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2023 г.

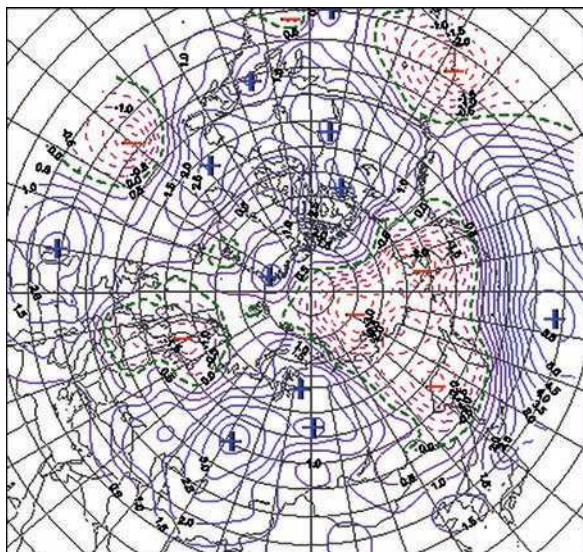


Рис. 1.4. Поле средней аномалии геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа за период январь — декабрь 2023 г.

В первом (атлантико-евразийском) секторе полушария по среднегодовым данным в средней тропосфере на изобарической поверхности 500 гПа ось высотного гребня, блокирующего генеральный западный перенос воздушных масс в толще тропосферы, чаще всего формировалась над Уралом и Западной Сибирью (восточная форма циркуляции *E*). В зонах влияния высотных блокирующих гребней сформировались наиболее крупные положительные аномалии геопотенциала на изобарической поверхности 500 гПа (см. рис. 1.5). Вследствие такого характера макропроцессов в большинстве месяцев 2023 г. высотная фронтальная зона (ВФЗ) в атлантико-евразийском секторе Северного полушария располагалась чаще севернее своего многолетнего положения. В результате смещение циклонов в системах исландского минимума в полярный район происходило по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям.

При высокой повторяемости высокоширотных траекторий приземных циклонов в системе исландского минимума отмечались усиление циклонической деятельности в западном секторе полярного района и преобладание отрицательных аномалий давления (рис. 1.5 и 1.6).

Во втором (тихоокеано-американском) секторе полушария высотный блокирующий гребень располагался преимущественно над Тихим океаном (меридиональная циркуляция типа *M*). Вследствие этого генеральный западный перенос воздушных масс в толще тропосферы чаще всего был ориентирован на восточный сектор полярного района Арктики.

В поле приземного давления под влиянием с юга гребней антициклона циклоны в системах алеутского минимума смешались по ВФЗ по более высокоширотным по сравнению с нормой траекториям. При такой направленности крупномасштабных атмосферных процессов в восточном секторе полярного района преобладали отрицательные аномалии давления (см. рис. 1.5 и 1.6).

Отмеченные особенности крупномасштабных атмосферных процессов в двух секторах Северного полушария в 2023 г. способствовали преобладанию адвекции теплых воздушных масс и формированию в полярном районе в среднем за год фона с положительными аномалиями температуры воздуха.

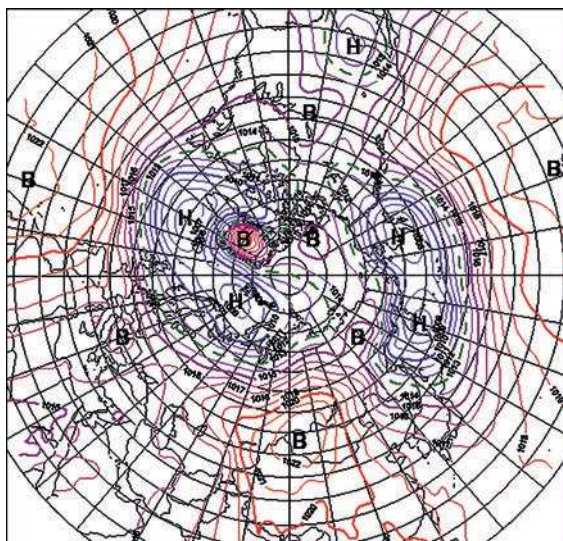


Рис. 1.5. Поле среднего приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2023 г.

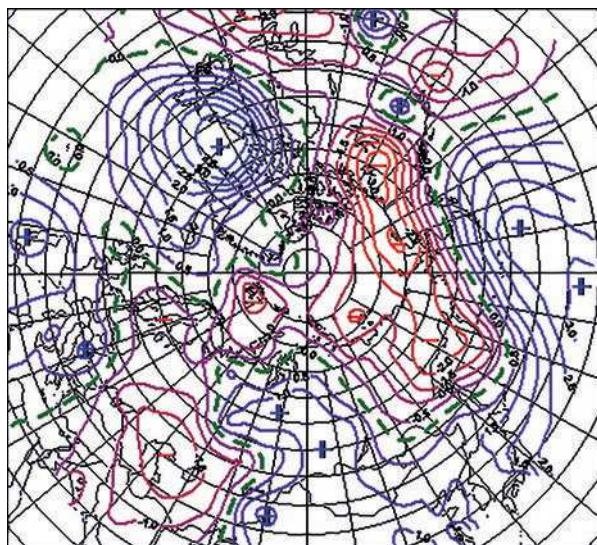


Рис. 1.6. Поле средней аномалии приземного давления (гПа) за период январь — декабрь 2023 г.

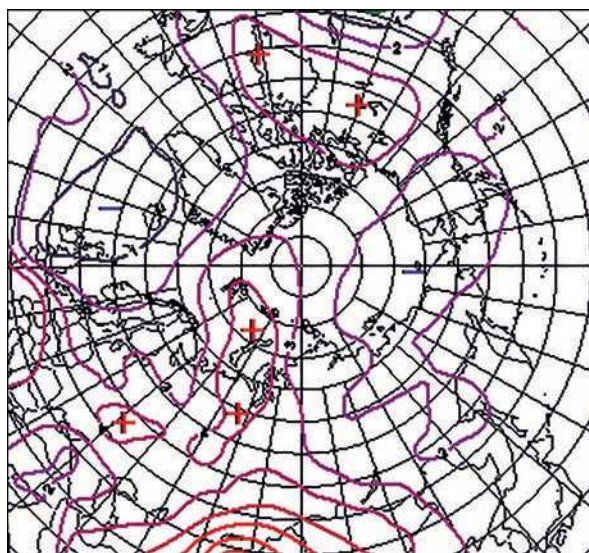


Рис. 1.7. Поле средней аномалии приземной температуры воздуха (°C) за период январь — декабрь 2023 г.

Наиболее крупные среднегодовые положительные аномалии температуры воздуха отмечались в западном секторе Арктики. Этот сектор внес наибольший вклад в формирование высокого температурного фона в полярном районе в 2023 г. (рис. 1.7). При этом высокий фон с положительными аномалиями температуры воздуха в среднем по полярному району повысился в 2023 г. на 1,7 °C и оказался близок к экстремальному среднему годовому значению, отмечавшемуся в 2016 г. (рис. 1.8).

Структурный анализ внутригодовых и внутримесячных особенностей развития атмосферных процессов в 2023 г. проводился по комплексу метеорологических

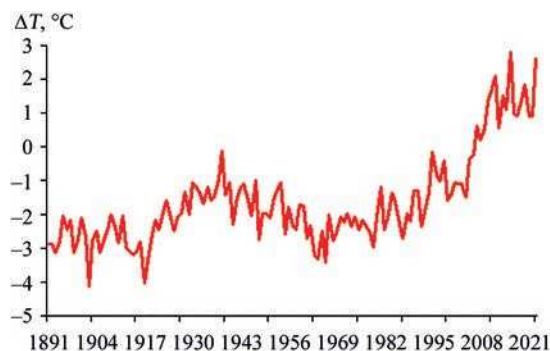


Рис. 1.8. Средние годовые значения аномалии температуры воздуха (°C) в полярном районе (в широтном поясе 70—85° с.ш.) с 1891 по 2023 г.

характеристик (форма, тип циркуляции, их разновидности, направление воздушных потоков, давление и температура воздуха и их аномалии) за различные периоды осреднения, как календарные, так и по естественным стадиям перестройки процессов различного временного масштаба.

Анализ развития процессов показал, что в течение 2023 г. от месяца к месяцу отмечались частые изменения направленности развития крупномасштабных атмосферных процессов (см. рис. 1.1 и 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 2023 г. по среднемесячным данным выглядит следующим образом:

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

На рис. 1.9 представлены изменения средних месячных значений аномалии давления в центральном полярном районе Арктики в январе — декабре 2023 г.

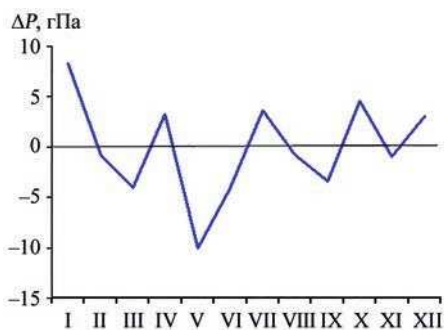


Рис. 1.9. Среднемесячные значения аномалии давления в январе — декабре 2023 г. в центральном полярном районе Арктики.

Перестройка направленности крупномасштабных атмосферных процессов в течение 2023 г. отразилась на аномалиях давления и температуры в полярном районе.

В большинстве месяцев 2023 г. при высокоширотных траекториях циклонов отмечалась активизация в полярном районе циклонической деятельности с понижением фона давления до отрицательных аномалий. Влияние наиболее глубоких циклонов из системы исландского минимума имело место в мае и июне 2023 г.

Как уже отмечалось, преобладание отрицательных аномалий давления в двух секторах полярного района во многом было обусловлено устойчивым увеличением повторяемости высокоширотных траекторий циклонов в атлантико-евразийском и тихоокеано-американском секторах Северного полушария.

Ослабление циклонической деятельности и рост давления до положительных аномалий в полярном районе были связаны с усилением гребня арктического антициклона. В эти периоды циклоны смещались по более низкоширотным по сравнению с нормой траекториям.

Внутригодовые изменения среднемесячных значений аномалии температуры воздуха в Арктике в январе — декабре 2023 г. представлены на рис. 1.10.

Из рис. 1.10 видно, что в 2023 г. в полярном районе преобладала адвекция теплых воздушных масс. Во всех месяцах положительные средние месячные значения аномалии температуры воздуха оказались выше, чем в 2022 г.

В среднем за год положительная аномалия температуры воздуха в полярном районе оставила 2,6 °С, т. е. была на 1,7 °С выше, чем в предшествующем году, и на 0,2 °С ниже экстремального значения за 2016 г.

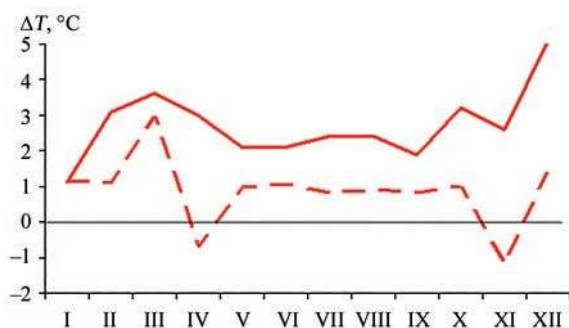


Рис. 1.10. Значения средних месячных значений аномалии температуры воздуха (°C) в полярном районе (в широтном поясе 70—85° с.ш.) в январе — декабре в 2022 и 2023 гг.

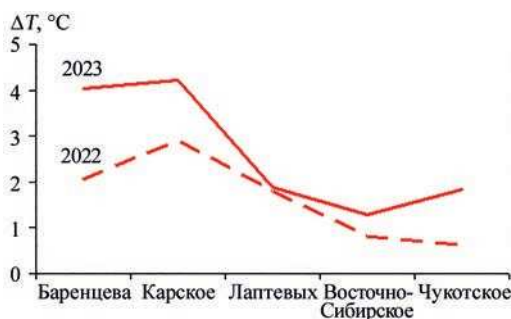


Рис. 1.11. Значения среднегодовых аномалий температуры воздуха по акватории арктических морей Евразии в 2022 и 2023 гг.

Для акватории морей российской Арктики изменения среднегодовых значений аномалий температуры воздуха в 2022 и 2023 гг. приводятся на рис. 1.11.

На акватории всех российских арктических морей в 2023 г. преобладали положительные аномалии температуры воздуха. Наиболее высокие аномалии температуры отмечались на акватории Карского и Баренцева морей, наиболее низкие — на акватории морей Восточно-Сибирского, Лаптевых и Чукотского.

В среднем по акватории всех морей аномалия температуры воздуха в 2023 г. составила 2,7 °С, что на 1,1 °С выше, чем в предшествующем году. На трассе СМП арктических морей России в 2023 г. наибольшее повышение температурного фона (на 2 °С) отмечено на акватории Баренцева моря.

Отмеченные тенденции изменения температуры воздуха в полярном районе и на акватории арктических морей в течение 2023 г. в целом согласуются с перестройкой в направленности крупномасштабных атмосферных процессов и сменой направления преобладающих воздушных потоков. Наибольшие значения положительных аномалий температуры в полярном районе и на акватории арктических морей отмечались в холодные месяцы года под влиянием адвекции теплых воздушных масс с Северной Атлантики и Тихого океана.

Анализ структурных особенностей циркуляции атмосферы внутри каждого месяца в 2023 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 сопровождалась 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 2023 г. представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

**Каталог макросиноптических процессов
по классификации Г.Я. Вангенгейма — А.А. Гирса с января по декабрь 2023 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	<i>E</i>	<i>M</i> ₂	1—2	<i>W</i>	<i>M</i> ₂	1—5	<i>C</i>	<i>M</i> ₁
4—10	<i>E</i>	<i>M</i> ₂	3—6	<i>E</i>	<i>M</i> ₂	6—13	<i>W</i>	<i>M</i> ₂
11—20	<i>E</i>	<i>M</i> ₂	7—16	<i>W</i>	<i>M</i> ₁	14—15	<i>E</i>	<i>M</i> ₁
21—24	<i>W</i>	3	17—23	<i>E</i>	<i>M</i> ₂	16—19	<i>W</i>	<i>M</i> ₂
25—31	<i>W</i>	<i>M</i> ₁	24—28	<i>C</i>	<i>M</i> ₂	20—26	<i>W</i>	<i>M</i> ₁
						27—28	<i>C</i>	<i>M</i> ₂
						29—31	<i>E</i>	<i>M</i> ₁
Итого	<i>W</i> 11 (–1) <i>C</i> 0 (–6) <i>E</i> 20(7)	3 4 (–4) <i>M</i> ₁ 7 (1) <i>M</i> ₂ 20 (3)	Итого	<i>W</i> 12 (3) <i>C</i> 5 (–1) <i>E</i> 11 (–2)	3 0 (–6) <i>M</i> ₁ 10 (5) <i>M</i> ₂ 18 (0)	Итого	<i>W</i> 19 (9) <i>C</i> 7 (–1) <i>E</i> 5 (–8)	3 0 (–10) <i>M</i> ₁ 17 (11) <i>M</i> ₂ 14 (–1)

Апрель			Май			Июнь		
ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А
1—5	<i>C</i>	M_1	1—3	<i>C</i>	M_1	1—8	<i>C</i>	M_1
6—8	<i>W</i>	M_2	4—7	<i>C</i>	M_1	9—11	<i>W</i>	M_1
9—12	<i>E</i>	3	8—11	<i>E</i>	M_2	12—14	<i>C</i>	M_2
13—19	<i>E</i>	M_1	12—14	<i>W</i>	M_2	15—22	<i>E</i>	3
20—22	<i>C</i>	M_1	15—17	<i>E</i>	M_2	23—26	<i>E</i>	M_1
23—26	<i>E</i>	M_1	18—23	<i>W</i>	M_2	27—30	<i>E</i>	M_1
27—30	<i>C</i>	M_1	24—28	<i>E</i>	M_1			
			29—31	<i>C</i>	3			
Итого	<i>W</i> 3 (–6) <i>C</i> 12 (4) <i>E</i> 15 (2)	3 4 (–5) M_1 23 (15) M_2 3 (–10)	Итого	<i>W</i> 9 (0) <i>C</i> 10 (0) <i>E</i> 12 (0)	3 3 (–8) M_1 12 (3) M_2 16 (5)	Итого	<i>W</i> 3 (–7) <i>C</i> 11 (0) <i>E</i> 16 (7)	3 8 (0) M_1 22 (6) M_2 0 (–6)
Июль			Август			Сентябрь		
ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А
1—3	<i>E</i>	M_1	1—6	<i>E</i>	M_1	1—5	<i>E</i>	M_1
4—7	<i>W</i>	M_1	7—11	<i>E</i>	M_2	6—13	<i>E</i>	M_2
8—12	<i>C</i>	3	12—14	<i>W</i>	3	14—21	<i>W</i>	M_1
13—16	<i>E</i>	M_2	15—17	<i>E</i>	3	22—30	<i>E</i>	M_2
17—20	<i>C</i>	M_2	18—21	<i>C</i>	M_1			
21—27	<i>W</i>	M_1	22—28	<i>W</i>	M_1			
28—31	<i>W</i>	M_1	29—31	<i>E</i>	M_1			
Итого	<i>W</i> 15 (5) <i>C</i> 9 (–2) <i>E</i> 7 (–3)	3 5 (–5) M_1 18 (0) M_2 8 (5)	Итого	<i>W</i> 10 (–7) <i>C</i> 4 (–3) <i>E</i> 17 (5)	3 6 (–8) M_1 20 (7) M_2 5 (1)	Итого	<i>W</i> 8 (–5) <i>C</i> 0 (–8) <i>E</i> 22 (13)	3 0 (–15) M_1 13 (4) M_2 17 (11)
Октябрь			Ноябрь			Декабрь		
ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А	ЭСП	А—Е	Т—А
1—7	<i>W</i>	M_2	1—3	<i>E</i>	M_2	1—8	<i>E</i>	3
8—9	<i>C</i>	M_2	4—6	<i>W</i>	M_2	9—13	<i>E</i>	M_2
10—13	<i>W</i>	M_2	7—11	<i>W</i>	3	14—15	<i>E</i>	3
14—17	<i>C</i>	M_2	12—14	<i>E</i>	M_1	16—22	<i>W</i>	M_2
18—27	<i>E</i>	M_1	15—19	<i>C</i>	3	23—29	<i>E</i>	M_2
28—31	<i>W</i>	M_2	20—22	<i>W</i>	M_2	30—31	<i>W</i>	3
			23—26	<i>E</i>	M_2			
			27—30	<i>E</i>	3			
Итого	<i>W</i> 15 (3) <i>C</i> 9 (–1) <i>E</i> 10 (–2)	3 0 (–16) M_1 10 (5) M_2 21 (11)	Итого	<i>W</i> 11 (0) <i>C</i> 5 (–1) <i>E</i> 14 (1)	3 14 (2) M_1 3 (0) M_2 13 (–2)	Итого	<i>W</i> 9 (–1) <i>C</i> 0 (–5) <i>E</i> 22 (6)	3 12 (2) M_1 0 (–3) M_2 19 (1)

Примечание. ЭСП — элементарный синоптический процесс; А—Е — атлантико-европейский сектор полушария; Т—А — тихоокеано-американский сектор полушария; в скобках среднемесячные аномалии числа дней с формами (*W*, *C*, *E*) и типами (3, M_1 , M_2) атмосферной циркуляции.

2. ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ И ПРОЦЕССЫ НА АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И ЕГО МОРЕЙ

Оценки развития ледовых условий в 2023 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, по данным экспедиционных исследований, проводимых в ААНИИ на ЛСП «Северный полюс» и научной обсерватории «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 2023 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://wdc.aari.ru/datasets/>.

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

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

Для расчета аномалий ледовых параметров, включающих в себя оценки состояния припайного льда (толщина и взлом припая) и основные фазы весенних и осенних ледовых явлений (сроки очищения, сроки ледообразования), использовались нормы, рассчитанные для каждой полярной станции с 1991 по 2020 г. (длина рядов для расчета средних многолетних значений составляет 30 лет).

Для расчета аномалий площади льда в СЛО и его морях, аномалий интенсивности сокращения и нарастания льда в различные периоды года используются нормы, рассчитанные за весь доступный период микроволновых наблюдений за морским льдом

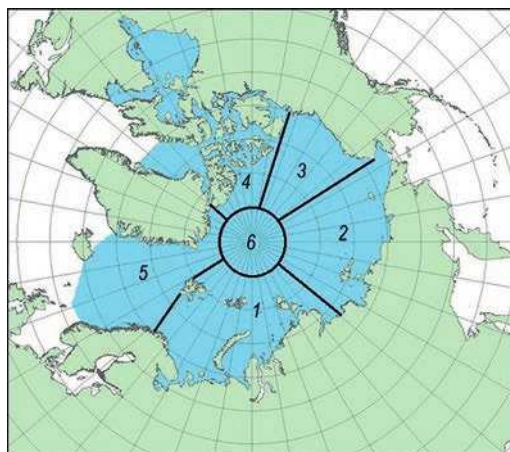


Рис. 2.В.1. Районы Северного Ледовитого океана.

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

в Северном полушарии с 1979 по 2023 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)

Ледообразование в СЛО в предшествующий осенний период (2022 г.) началось в массиве старых и остаточных льдов в конце августа. В первой декаде сентября начальные льды появились на открытой воде среди островов Канадского Арктического архипелага.

В третьей декаде сентября начальные и молодые льды появились на чистой воде и наблюдались в прикромочной зоне за остаточными льдами на широком фронте от Гренландского моря до моря Бофорта. Ширина полосы молодых льдов составляла в западных арктических морях от 50 до 100 км, а в восточных морях от 100 до 200 км.

В начале октября начальные льды появились у северной границы морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Бофорта. Одновременно ледообразование началось в прибрежных районах этих морей.

Ледообразование развивалось достаточно интенсивно. В конце октября ледообразование охватило северную часть Карского моря, северную и прибрежную части моря Лаптевых, всю акваторию Восточно-Сибирского моря, северную и прибрежную часть Чукотского моря и большую часть акватории моря Бофорта.

Основной особенностью ледообразования в осенний сезон 2022 г. стало его начало в сроки, близкие к средним многолетним, в тех районах, в которых сохранились остаточные льды (северо-восточная часть Карского моря и восточная часть Восточно-Сибирского моря, а также в северная часть моря Бофорта), и более позднее начало в районах, которые в конце летнего сезона были полностью свободны ото льда.

В третьей декаде октября свободными ото льда оставались Баренцево море, юго-западная часть Карского моря и центральная часть Чукотского моря. На акватории остальных морей наблюдались молодые льды, а в северной части морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Бофорта наблюдался переход молодых льдов в однолетние тонкие. В западной части моря Лаптевых, в центральной части Восточно-Сибирского моря и в восточной части моря Бофорта сохранялись протяженные языки остаточных льдов.

Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины сентября по середину октября, составило 1,7 млн км², что было близко к среднему многолетнему значению за длинный ряд наблюдений с 1979 по 2021 г. (1,8 млн км²).

В ноябре развитие ледообразования продолжилось. Наблюдалось быстрое увеличение площади молодых и однолетних льдов. Льдами были покрыты акватории всех арктических морей, кроме Баренцева моря, юго-запада Карского моря и восточной части Чукотского моря, где сохранялись обширные зоны чистой воды. Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины октября по середину ноября, составило 2,81 млн км², что на 23 % превысило среднее многолетнее значение (2,2 млн км²).

В декабре продолжилось увеличение площади и толщины ледяного покрова. Количество молодых и однолетних льдов, появившихся в СЛО и его морях с середины ноября по середину декабря, составило около 1,53 млн км², что оказалось на 13 % больше среднего многолетнего значения (норма 1,3 млн км²).

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в конце декабря 2022 г. составила 11,2 млн км² при норме 11,6 млн км², т. е. оказалась на 3,5 % меньше средних многолетних значений. По площади распространения льдов в конце года текущий 2022 г. оказался очень близким к средним показателям за ряд наблюдений с 1978 по 2022 г.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям за каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период январь — март 2023 г. приведены на рис. 2.1.1 — 2.1.9.

На рис. 2.1.1 приведено распределение льда по возрасту, а на рис. 2.1.2 — распределение льда по сплоченности на середину января 2023 г.

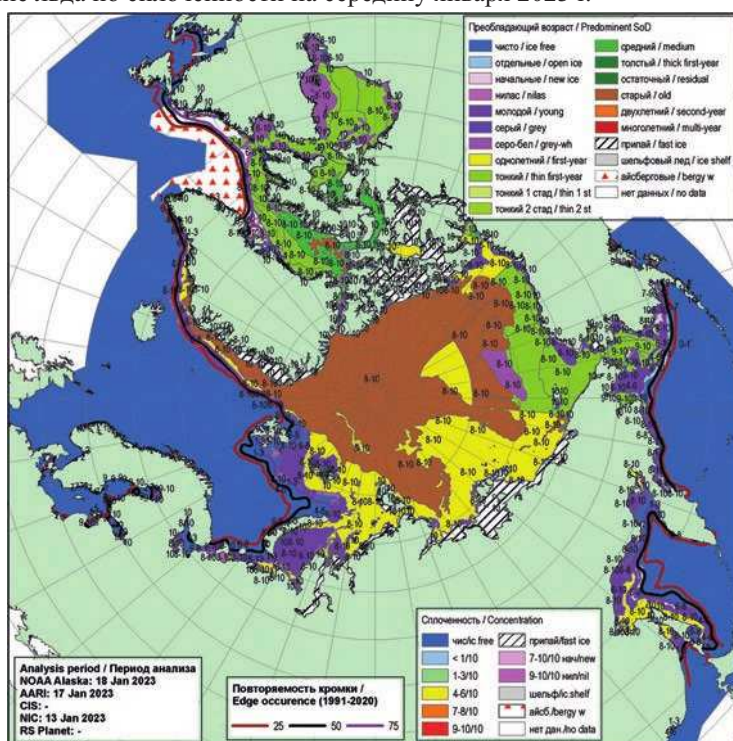


Рис. 2.1.1. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 13—18 января 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

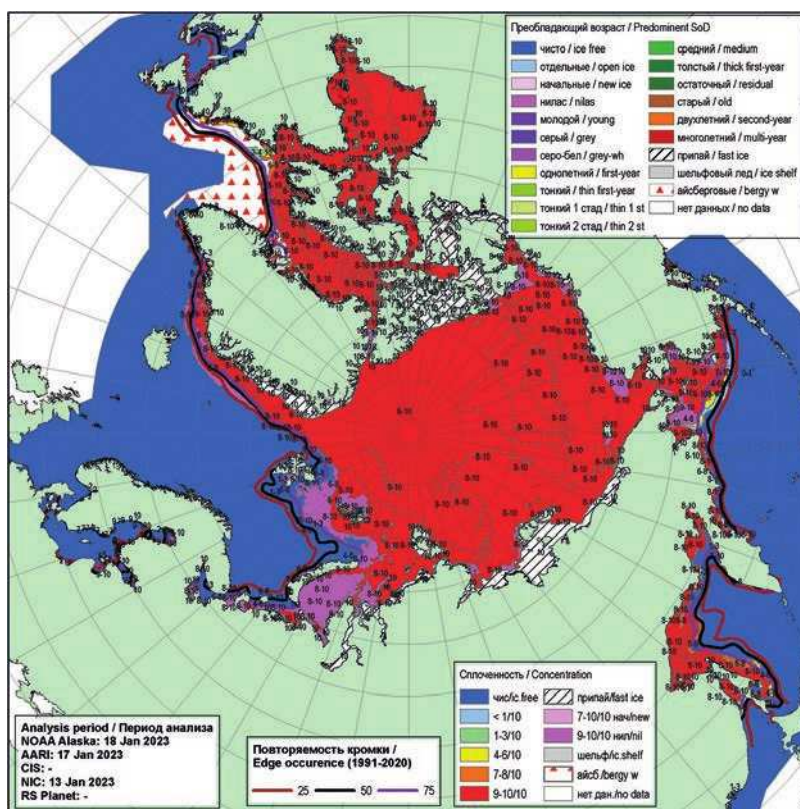


Рис. 2.1.2. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 13—18 января 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

Позднее начало ледообразования в осенний период, но вместе с тем большая его интенсивность в октябре — ноябре 2021 г. привели к быстрому увеличению площади ледяного покрова. В январе все арктические моря были покрыты дрейфующими и припайными льдами разного возрастного состава. В середине января в Баренцевом море, юго-западной части Карского моря, западной части моря Лаптевых преобладали молодые и однолетние тонкие льды. В остальных морях — в северо-восточной части Карского моря, восточной части моря Лаптевых, морях Восточно-Сибирском, Чукотском и Бофорта — появились однолетние средние льды (диапазон толщины 70—120 см), которые стали преобладающими на акватории этих морей в конце января.

Появление однолетних средних льдов (диапазон толщины 70—120 см) уже в середине января свидетельствует о большой интенсивности процесса увеличения толщины ледяного покрова. В северной части Чукотского моря и моря Бофорта в конце января начало отмечаться появление зон однолетних толстых льдов (диапазон толщины более 120 см).

Основной массив старых льдов располагался в приполюсном районе, гринландском и канадском секторах Арктики. Большое количество старых льдов (преимущественно двухлетних) отмечалось в Восточно-Сибирском море, в северной части Чукотского моря и в море Бофорта. В прибрежных частях этих морей также наблюдались обширные локальные пятна и полосы с преобладанием старых (преимущественно двухлетних) льдов.

Становление припая вдоль арктического побережья во всех арктических морях и их проливах происходило в сроки, близкие к норме. Припай установился вдоль береговой черты всех морей российского сектора Арктики, вокруг архипелагов Земля Франца Иосифа, Северная Земля и Новосибирские островов а также в проливах островов Канадского Арктического архипелага. Установился припай и в проливе Вилькицкого. Наблюдалось развитие обширных полыней вдоль ямальского побережья и в Обь-Енисейском районе Карского моря (см. рис. 2.1.1).

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

В январе были развиты две основные структуры дрейфа льда в СЛО — Трансарктический перенос льда и Канадский антициклонический круговорот.

Трансарктический перенос льдов брал свое начало из северо-восточной части Карского моря и западной части моря Лаптевых. Стрежень потока был близок к своему среднему положению. Поток льдов проходил через приполюсный район, и далее основная его часть выносилась в пролив Фрама. Скорость дрейфа льда в потоке составляла 3—5 км/сут, но значительно увеличивались на подходе и в самом проливе Фрама — до 10 км/сут.

Канадский антициклонический круговорот был развит очень хорошо. Обширный антициклонический круговорот льдов охватывал две трети акватории СЛО. Центр круговорота находился в приполюсном районе. Скорость дрейфа льдов на периферии круговорота достигала 5—7 км/сут, в центре круговорота — 1—3 км/сут (рис. 2.1.3).

В феврале наблюдалось дальнейшее развитие ледяного покрова и нарастания льда по толщине. В западном районе российского сектора Арктики, на акватории морей Баренцева, Карского и Лаптевых, преобладали однолетние тонкие (диапазон толщины 30—70 см) и средние (диапазон толщины 70—120 см) льды. В восточном

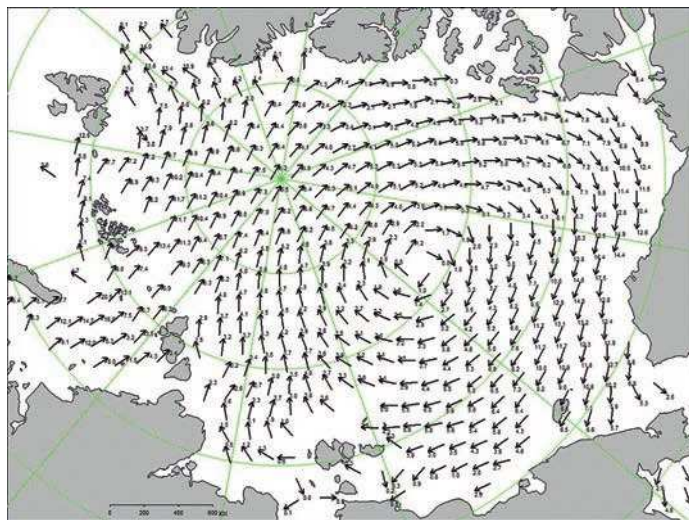


Рис. 2.1.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в январе 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

районе российского сектора Арктики, на акватории морей Восточно-Сибирского, Чукотского и Бофорта преобладали однолетние средние льды.

Большое количество молодых льдов наблюдалось в прикромочной зоне Баренцева моря, а также в западных частях морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского, что было связано с образованием обширных заприпайных полыней в этих районах.

В морях Восточно-Сибирском и Бофорта наблюдалось большое количество старых (двухлетних) льдов в виде обширных локальных зон, полос и пятен, которые располагались по всей акватории морей и даже достигали прибрежных районов.

Появление однолетних толстых льдов наблюдалось в виде неширокой полосы (50—150 км) за северной границей российских арктических морей в непосредственной близости от границы старых льдов.

На акватории российских арктических морей, а также моря Бофорта появления однолетних толстых льдов (толщина более 120 см) не отмечалось. Такое незначительное распространение однолетних толстых льдов является нехарактерным для февраля. В среднем в конце февраля количество однолетних толстых льдов уже сопоставимо с количеством однолетних средних и тонких. Это свидетельствует о малой интенсивности нарастания льда по толщине в течение января и февраля 2024 г. (рис. 2.1.4).

Припай во всех арктических морях был развит меньше, чем в среднем многолетнем. Припай в проливе Вилькицкого был развит на западных подходах, со сто-

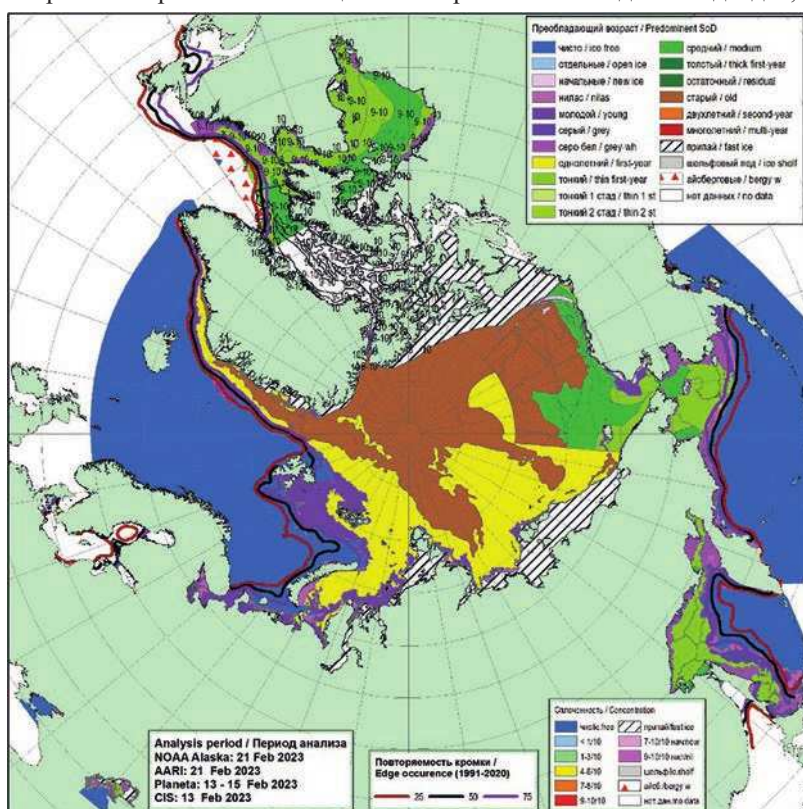


Рис. 2.1.4. Обзорная ледовая карта СЛЮ по возрасту льда за 13—21 февраля 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

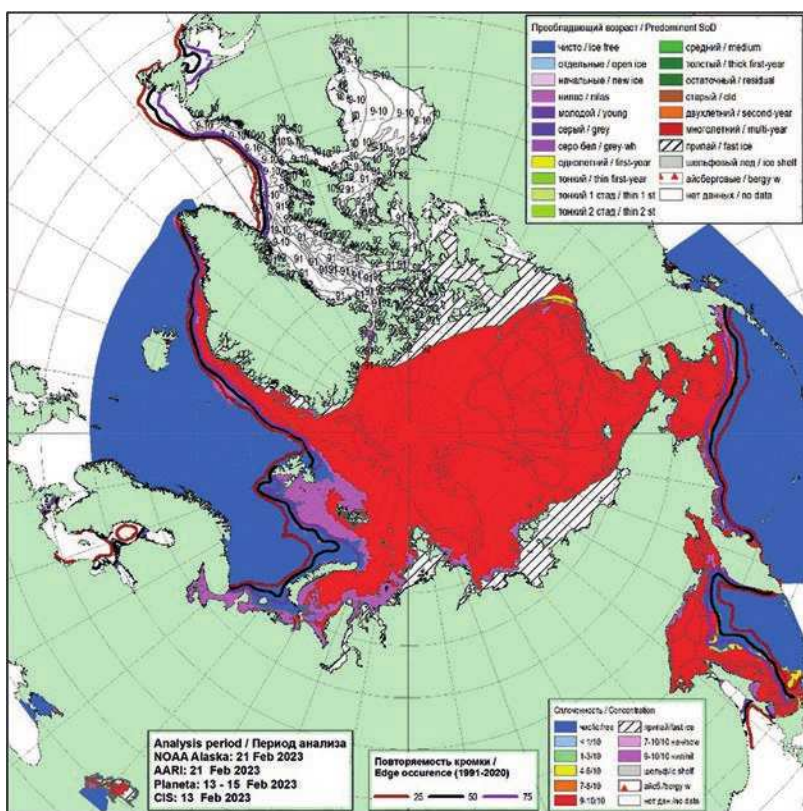


Рис. 2.1.5. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 13—21 февраля 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

роны Карского моря, и очень слабо развит на восточных подходах, со стороны моря Лаптевых. Наблюдался хорошо развитый припай в районе Новосибирских островов (близкий к норме) и в районе островов Канадского Арктического архипелага. Заприпайные полыньи наблюдались в юго-западном районе Карского моря, западных частях морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. На акватории остальных морей развитие заприпайных полыней было незначительным.

Основной массив старых льдов в СЛО был смещен в гренландский и канадский секторы Арктики и приполюсный район. Поле сплоченности льда было достаточно однородным. Преобладали сплоченные льды (сплоченность 9—10 баллов). Граница дрейфующих льдов в Гренландском море была близка к своему среднему многолетнему положению для февраля, а в Баренцевом море — к своему минимальному положению (рис. 2.1.5).

В феврале в поле дрейфа существенных изменений по сравнению с январем не произошло. Наблюдалось сохранение двух основных хорошо развитых структур дрейфа — Трансарктического переноса льда в западной части СЛО, и Канадского антициклонического круговорота в восточной части СЛО.

Трансарктический перенос льда начинался из северной части моря Лаптевых и далее, по западной периферии ледяного массива, широкий поток льдов выносился в пролив Фрама. Скорость дрейфа льда составляла около 5—10 км/сут в основном потоке и увеличивалась до 10—15 км/сут на подходе к проливу Фрама и в самом проливе.

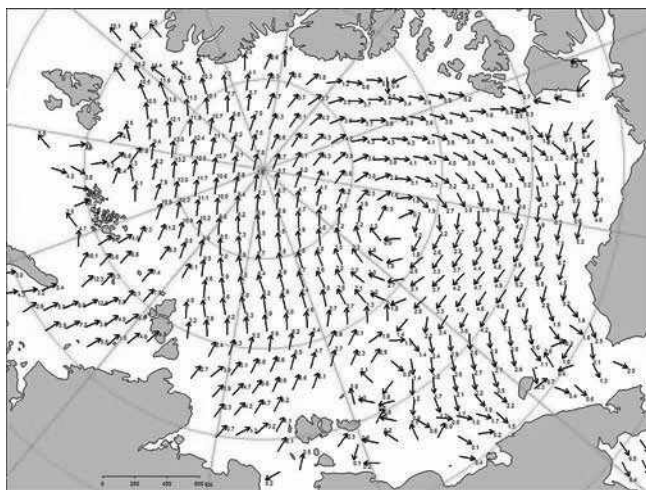


Рис. 2.1.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в феврале 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

Канадский антициклонический круговорот был развит хорошо. Его размеры несколько уменьшились по сравнению с январем, и центр сместился в восточную часть СЛО. Однако обширный круговорот продолжал перемещать массив льдов из приполюсного района в канадский сектор Арктики и далее в море Бофорта. Затем из моря Бофорта льды переносились в северные части Чукотского и Восточно-Сибирского морей. Скорость дрейфа на периферии круговорота составляла 3—5 км/сут, а в центральной его части — 1—3 км/сут (рис. 2.1.6).

В марте наблюдалось дальнейшее нарастание и развитие ледяного покрова, но происходило оно с малой интенсивностью. Об этом свидетельствуют медленное распространение однолетних толстых льдов в арктических морях и более медленное по сравнению с нормой увеличение толщины льда на полярных станциях.

Однолетние толстые льды не наблюдались на акватории морей Баренцева, Карского и Лаптевых. В западном районе российского сектора СЛО зона однолетних толстых льдов наблюдалась в виде неширокой полосы (шириной 100—150 км), расположенной южнее границы распространения массива старых льдов. На акватории морей Восточно-Сибирского, Чукотском и Бофорта в течение марта произошел полный переход однолетних льдов в возрастную градацию однолетних толстых. Подобная ситуация, когда в марте на части акватории российских арктических морей еще не наблюдаются однолетние толстые льды, является достаточно необычной и свидетельствует о слабом нарастании ледяного покрова по толщине.

В возрастном составе льдов на акватории всех морей российского сектора Арктики преобладал смешанный состав. Наблюдались льды всех возрастных категорий. По-прежнему, наблюдалось много однолетних тонких и молодых льдов в Баренцевом море. Молодые, однолетние тонкие и средние льды преобладали в морях Карском и Лаптевых. В Восточно-Сибирском и Чукотском морях преобладали однолетние средние и толстые льды. В море Бофорта преобладали однолетние толстые льды. В восточной части Восточно-Сибирского моря и в море Бофорта сохранялось значительное количество старых льдов в виде «языков», вытянутых в меридиональном направлении.

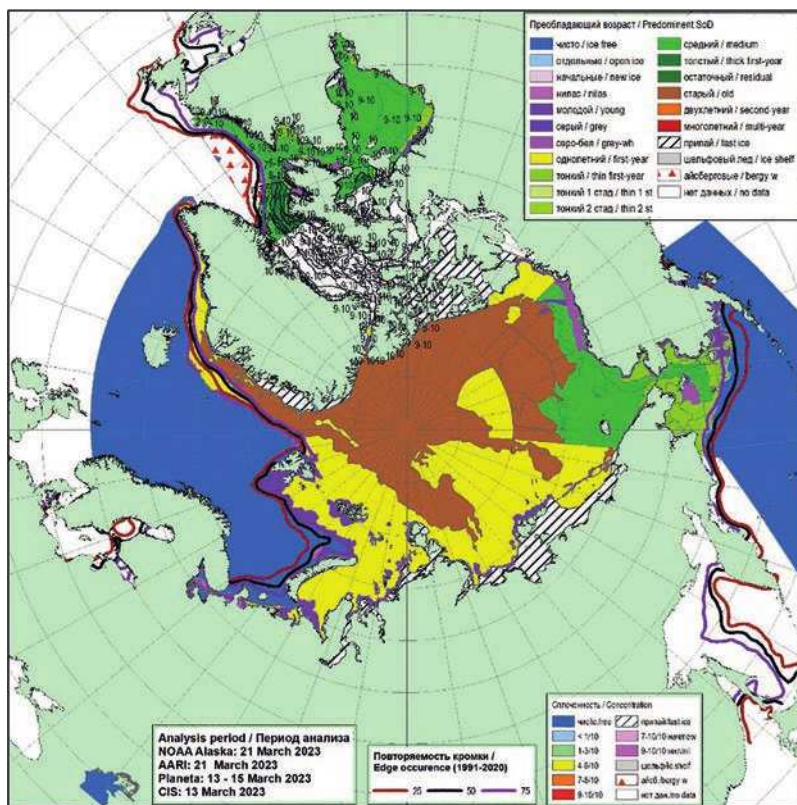


Рис. 2.1.7. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 13—21 марта 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

Из-за постоянного выносного характера дрейфа льдов в западной части моря Лаптевых не установился припай на восточных подходах к проливу Вилькицкого. В других районах арктических морей припай наблюдался, но был развит меньше нормы (рис. 2.1.7).

В поле сплоченности наблюдалась большая однородность, характерная для холодных зимних месяцев, когда любая полынья или разрыв в ледяном покрове быстро покрывается начальными и молодыми льдами. В результате быстрого замерзания появившихся пространств чистой воды в полыньях в холодные месяцы всегда наблюдается лед сплоченностью 9—10 баллов, хотя толщина его может существенно различаться. Граница дрейфующих льдов в западном районе Арктики, в Гренландском и Баренцевом морях была близка к своему минимальному положению для марта (рис. 2.1.8).

В марте в результате перестройки поля атмосферного давления произошло разрушение наблюдавшихся в январе и феврале основных структур дрейфа — Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота.

Смещение арктического антициклона на север Североамериканского континента и активный циклогенез в западной части СЛО привели к формированию обширного Трансарктического переноса, охватившего всю акваторию океана. Обширный перенос льда начинался в северных частях морей восточной части

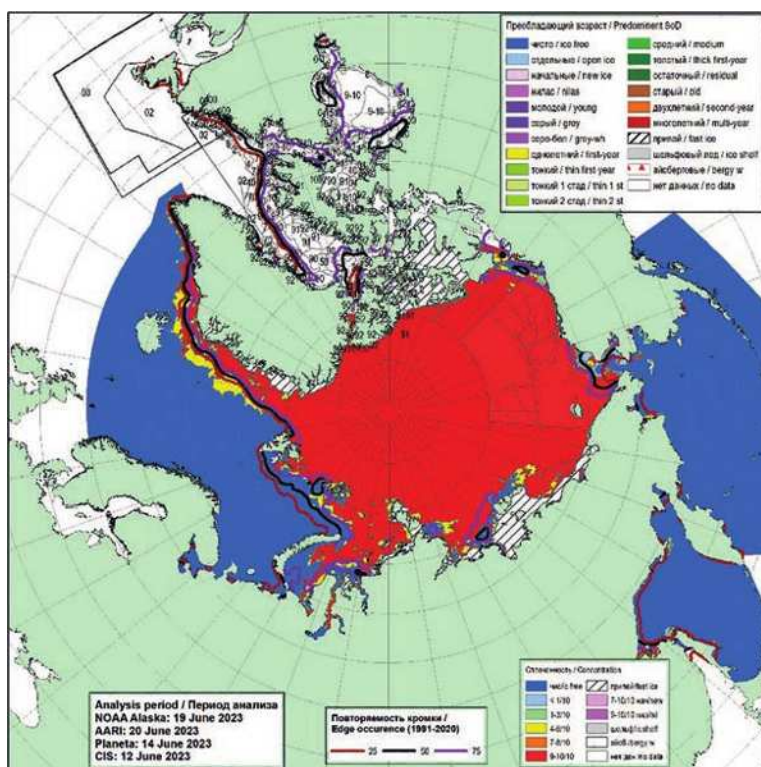


Рис. 2.1.8. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 13—21 марта 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

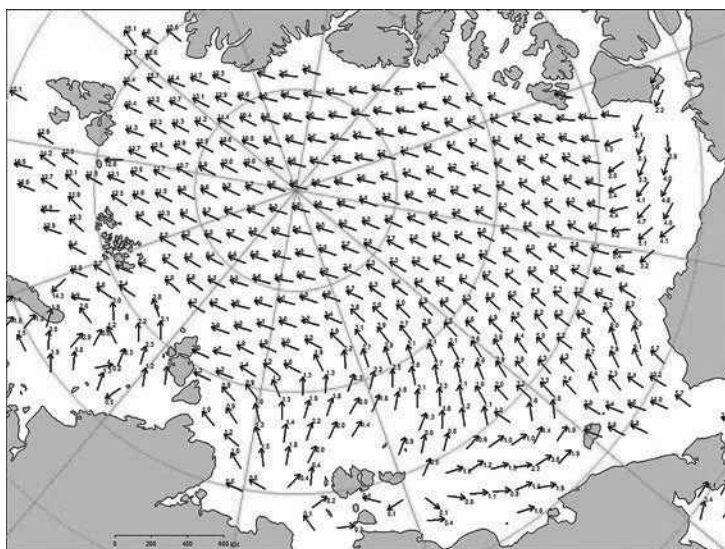


Рис. 2.1.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в марте 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

СЛО (моря Бофорта и Чукотское) и через приполюсный район выносился в пролив Фрама. Скорость дрейфа льда изменялась от 3—5 км/сут в восточной части СЛО до 10—15 км/сут на подходе к проливу Фрама и в самом проливе. Результирующее поле среднемесячного дрейфа за март приведено на рис. 2.1.9.

Позднее начало ледообразования в российских арктических морях и небольшая интенсивность его нарастания привели к формированию отрицательных аномалий толщины припайного льда. По данным полярных станций, в течение зимних месяцев отрицательная аномалия толщины льда сформировалась по всему побережью российских арктических морей. В Карском море аномалии составили –15...–20 см, в море Лаптевых и в районе Новосибирских островов –5...–15 см. По побережью восточной части Восточно-Сибирского моря и чукотскому побережью аномалии составили –15...–20 см.

Развитие припая в морях в течение зимних месяцев проходило с малой интенсивностью. Площадь припая была меньше средних многолетних значений во всех российских арктических морях, кроме припая вокруг архипелага Новосибирские острова. В середине марта суммарная площадь припая в российских арктических морях составила 485 тыс. км² при норме 586 тыс. км², что было на 17 % меньше средних многолетних значений.

Общее количество льдов в СЛО по оценкам, выполненным в ААНИИ, в конце первого квартала 2023 г. составило 11,8 млн км², что было на 1,2 % меньше среднего многолетнего значения за длинный ряд наблюдений (с 1978 г.). Нужно отметить, что количество льда, наблюдавшееся в СЛО в конце марта 2023 г., на 1,8 % превысило среднее значение за десятилетний период 2013—2022 гг. Однако при площади ледяного покрова, приближающейся к норме, его толщина была меньше характерного для конца марта среднего многолетнего значения. Как показывает модельный расчет, объем накопленного в СЛО льда в марте 2023 г. занимал второе место по рангу в ряду минимумов, превосходя только 2021 г. (см. рис. 2.4.10).

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 2023 г. приведены на рис. 2.2.1 — 2.2.10.

В апреле наблюдалось дальнейшее развитие ледяного покрова и переход однолетних средних льдов в возрастную градацию однолетних толстых в отдельных районах окраинных арктических морей. Однако на обширных акваториях Баренцева моря, юго-западной части Карского моря и южной части моря Лаптевых сохранялось преобладание однолетних средних и тонких льдов. В восточной части Баренцева моря, северо-восточной части Карского моря, центральной части моря Лаптевых, западной части Восточно-Сибирского моря к северу от припая и в юго-западной части Чукотского моря преобладали однолетние средние льды. В северных частях всех морей и в центральной части Восточно-Сибирского моря преобладали однолетние толстые льды.

Процесс нарастания льда в весенний период 2023 г. во всех морях российского сектора Арктики происходил со значительным запаздыванием по сравнению с нормой.

Заприпайные полыньи в арктических морях были развиты слабо. Они отмечались только за припаем в районе Новосибирских островов. В связи с этим молодых льдов в арктических морях (толщиной до 30 см) наблюдалось также мало. Только в Баренцевом море наблюдались обширные зоны молодых льдов в прикромочной зоне.

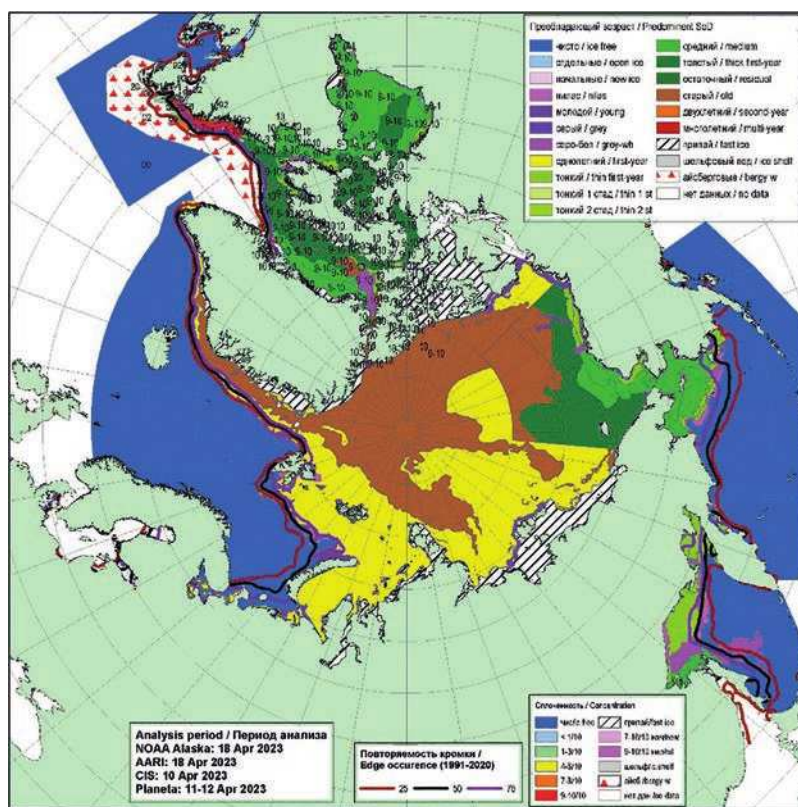


Рис. 2.2.1. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 11—18 апреля 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

Припай вдоль побережья Карского моря и вокруг островов архипелага Северная Земля, вдоль побережий в западной части моря Лаптевых и вдоль Чукотского побережья был развит слабо. Хорошо был развит припай в районе архипелага Новосибирские острова, особенно в западной части Восточно-Сибирского моря и среди островов Канадского Арктического архипелага.

Старые льды наблюдались в гринландском и канадском секторе СЛО, а также в приполюсном районе Арктики. Большое количество двухлетних льдов сохранялось в северной части моря Бофорта, а также на акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в виде отдельных, вытянутых в меридиональном направлении протяженных зон (рис. 2.2.1).

В поле сплошности ледяного покрова прослеживалась достаточная однородность. Преобладали сплошные льды, что характерно для зимних месяцев в СЛО. Граница распространения ледяного покрова в морях Баренцевом, Гринландском, Баффина и Лабрадор была близка к среднему многолетнему положению (рис. 2.2.2).

Из основных структур дрейфа льда в СЛО в апреле были хорошо развиты Трансарктический перенос льдов и Канадский антициклонический круговорот, однако скорость дрейфа льда в обеих основных структурах дрейфа была небольшой.

Трансарктический перенос льдов начинался от северной границы моря Лаптевых, проходил через приполюсный район и выносил льды непосредственно в пролив Фрама. Скорость дрейфа льдов в Трансарктическом переносе составляла 3—5 км/сут. На подходах к проливу Фрама и в самом проливе скорость дрейфа льда возрастала до 5—10 км/сут.

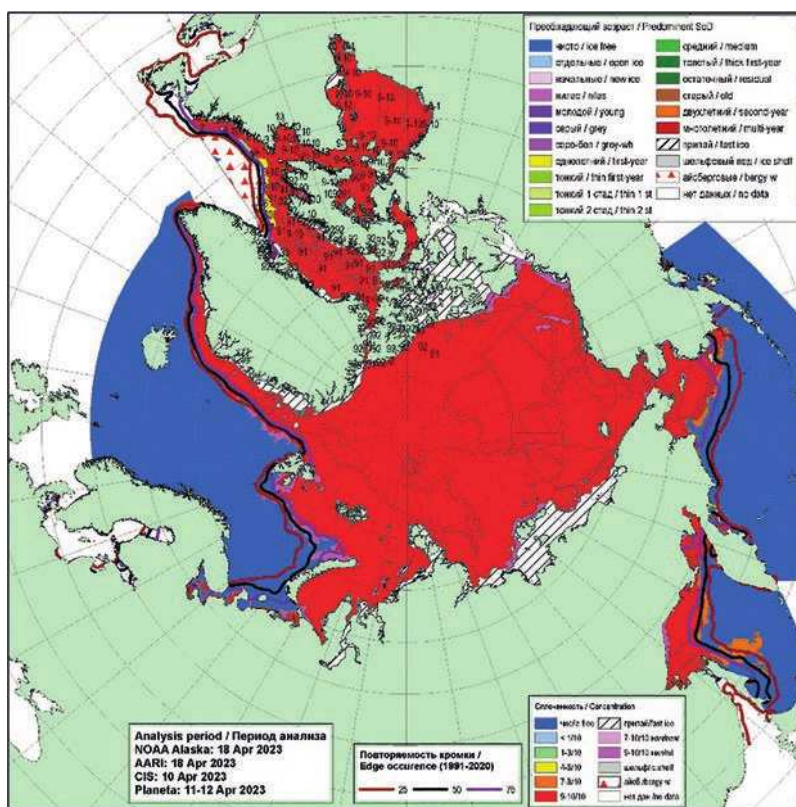


Рис. 2.2.2.2. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 11—18 апреля 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

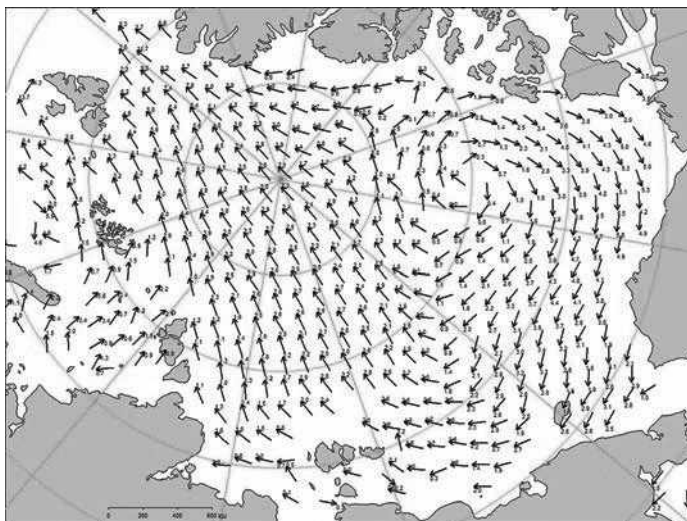


Рис. 2.2.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в апреле 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

Канадский антициклонический круговорот охватывал всю восточную часть СЛО и обширную акваторию от полюса до канадского и аляскинского побережий и северных частей Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Скорость дрейфа в периферийной ветви круговорота, которая проходит вдоль побережья Аляски, по северной части Восточно-Сибирского и Чукотского морей, составляла около 3—5 км/сут, а у побережья островов Канадского Арктического архипелага — около 1 км/сут (рис. 2.2.3).

В течение мая, который считается периодом максимального развития ледяного покрова, в структурном составе дрейфующих льдов Северного Ледовитого океана преобладали однолетние льды (преимущественно однолетние толстые и средние), которые составляли около 65—70 % общего количества льда. Около 30 % общего количества льда приходилось на старые льды. Остальное количество льдов было представлено молодыми льдами в прикомочной зоне западных морей (Гренландском и Баренцевом морях) или молодыми льдами в заприпайных полыньях моря Лаптевых.

Однолетние льды занимали весь российский сектор, более половины приполюсного района и половину аляскинского сектора Арктики. Старые льды наблюдались преимущественно в гренландском и канадском секторах Арктики и в части приполюсного района. Из части приполюсного района со стороны побережья Евразии старые льды были в значительной степени вытеснены и замещены однолетними льдами. Два обширных, вытянутых в меридиональном направлении языка старых льдов наблюдались в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском (рис. 2.2.4).

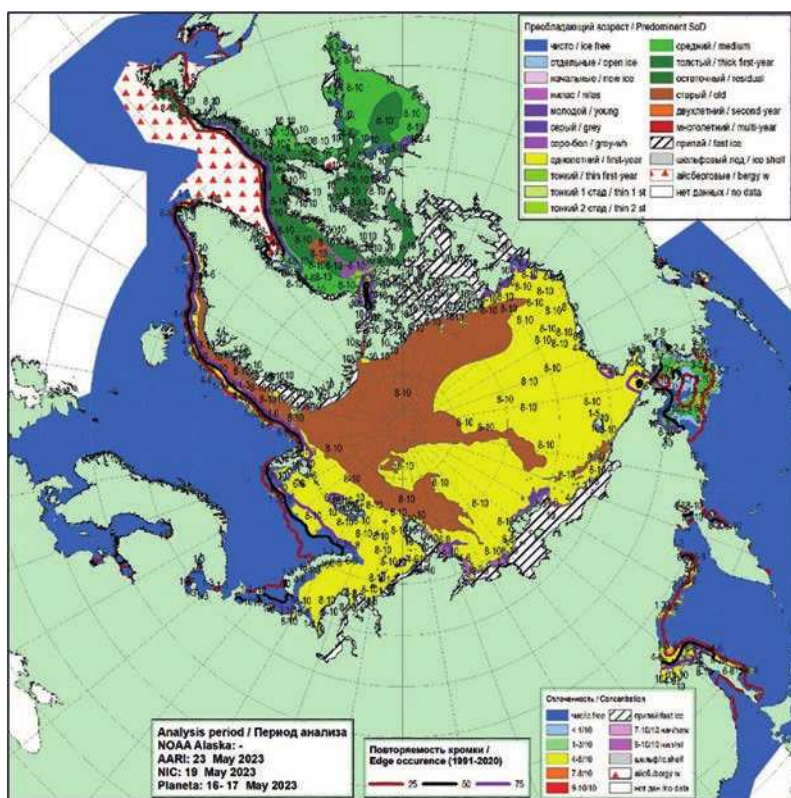


Рис. 2.2.4. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 16—23 мая 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

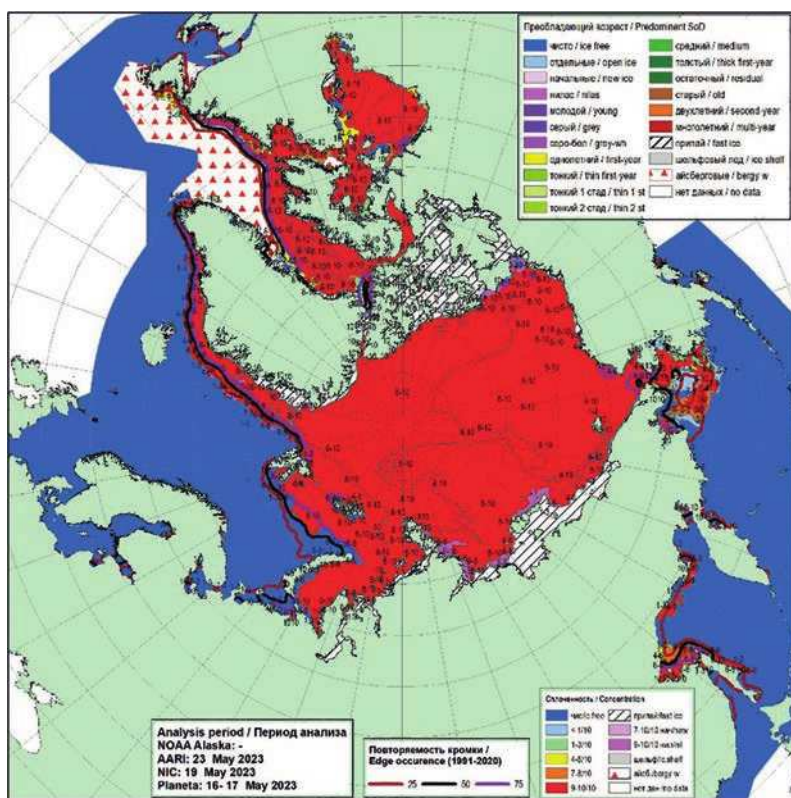


Рис. 2.2.5. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 16—23 мая 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

Припай был развит слабо в морях западного района российского сектора Арктики и значительно в восточных морях. Наиболее обширный припай наблюдался в районе Новосибирских островов, в западной части Восточно-Сибирского моря и между островами Канадского Арктического архипелага. Заприпайные полыньи не имели большого развития в море Лаптевых и вдоль припая к северу от Новосибирских островов (рис. 2.2.5).

В поле сплоченности ледяного покрова прослеживалась достаточная однородность. По всей акватории океана и морей преобладали сплоченные льды, что характерно для зимних месяцев. Положение границы распространения ледяного покрова в морях Баренцевом, Гренландском, Баффина и Лабрадор было близко к среднему многолетнему (см. рис. 2.2.5).

Обширного развития заприпайных полыней в мае 2023 г. в арктических морях не наблюдалось, в связи с чем не произошло формирования крупных очагов очищения, которые были характерны для развития ледовых условий в предыдущие годы (см. рис. 2.2.5).

В мае в поле дрейфа произошли существенные изменения. В западном районе СЛО, к северу от моря Лаптевых, сформировался обширный циклонический вихрь, восточная периферия которого приносила льды в моря Карское и Лаптевых, а западная периферия формировала Трансарктический перенос, который был значительно смещен в приполюсный район. Скорость дрейфа льда в циклоническом вихре составляла 3—8 км/сут, а в Трансарктическом переносе — 3—7 км/сут.

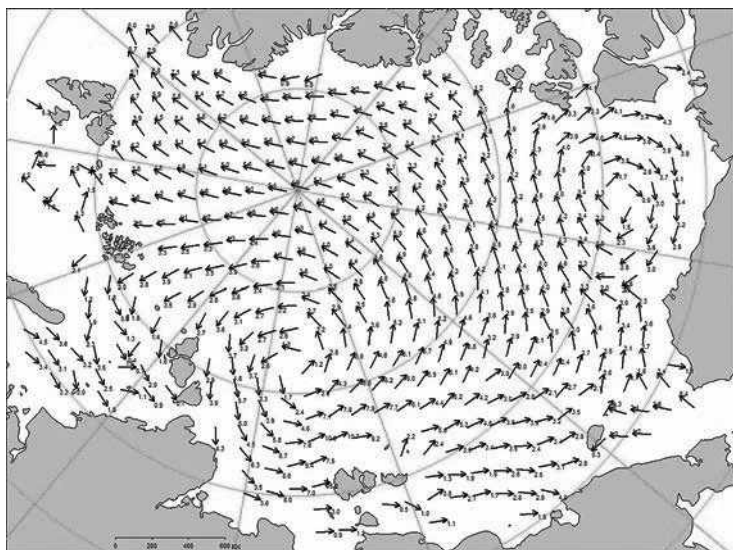


Рис. 2.2.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в мае 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

Канадский антициклонический круговорот значительно уменьшился в размерах. Его центр располагался над центром моря Бофорта. Скорость дрейфа в круговороте также уменьшилась и составляла менее 5 км/сут (рис. 2.2.6).

В весенний период интенсивность нарастания льда по толщине была меньше нормы в морях западного района российского сектора Арктики, что привело к увеличению отрицательных аномалий толщины льда, сформировавшихся в зимние месяцы. В Карском море наблюдалось увеличение отрицательной аномалии толщины льда от 10—20 до 20—30 см. В районах побережья восточных морей — Лаптевых и Восточно-Сибирского — толщина льда по данным полярных станций приблизилась к средним многолетним значениям. В районе Новосибирских островов и вдоль чукотского побережья сформировались положительные аномалии толщины льда. Например, на полярных станциях Новосибирских островов (Котельный, Санникова, Кигилях) толщина припая превышала норму на 30—50 см.

Распределение аномалии толщины льда по морям в конце периода его нарастания (середина мая) приведены на рис. 2.2.7.

В июне начался процесс очищения акваторий морей российского сектора Арктики — от Баренцева до Чукотского. Очищение началось рано. Центры очищения сформировались в четырех районах арктических морей — в центральной части Баренцева моря, юго-западной части Карского моря, восточной части моря Лаптевых и восточной части Чукотского моря. В морях Восточно-Сибирском и Бофорта признаков начала летнего очищения не наблюдалось.

В западных арктических морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости. В третьей декаде июня аномалии ледовитости составили в Баренцевом море –15 %, в юго-западной части Карского моря –30 %. Ледовитость остальных морей была близка к норме.

В июне наблюдалось значительное отступление границы дрейфующих льдов в Баренцевом море и в юго-западной части Карского моря. Очищение этих морей в первую очередь было связано с интенсивным дрейфом льда выносного

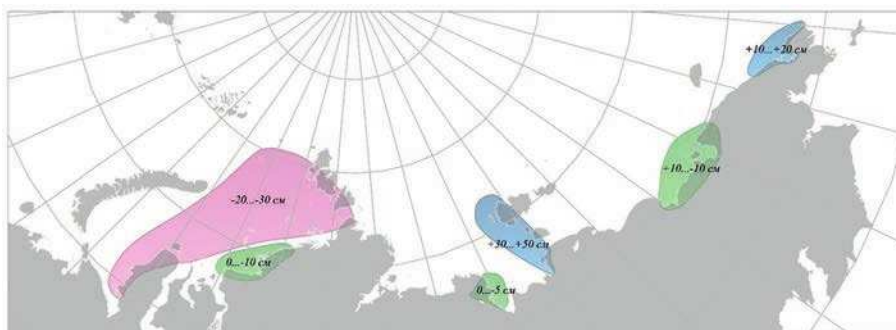


Рис. 2.2.7. Аномалия толщины льда на акватории морей российских секторов Арктики по данным полярных станций на период максимального его нарастания (конец мая) в 2023 г.

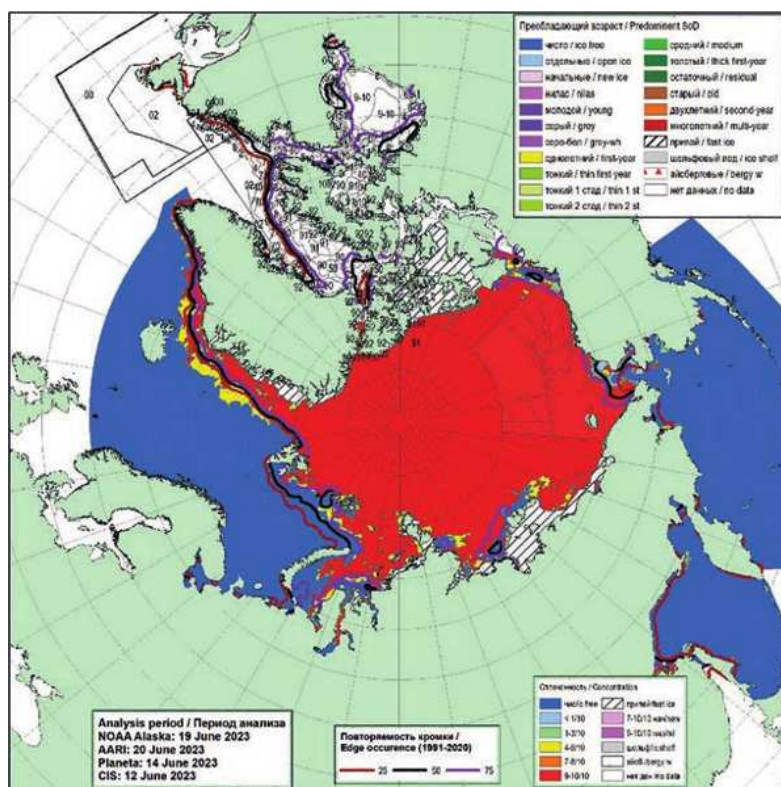


Рис. 2.2.8. Обзорная ледовая карта САО по сплоченности льда за 12—20 июня 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

характера, адвекцией тепла в эти районы и развитием тепловых процессов таяния и разрушения льда.

Наблюдалось начало разрушения припая во всех арктических морях, проливах и среди островов Канадского Арктического архипелага. Припай в проливе Вилькицкого в результате действия интенсивных западных ветров взломался в середине третьей декады июля. Припай в районе Новосибирских островов и между островами Канадского Арктического архипелага в течение июня сохранялся (рис. 2.2.8).

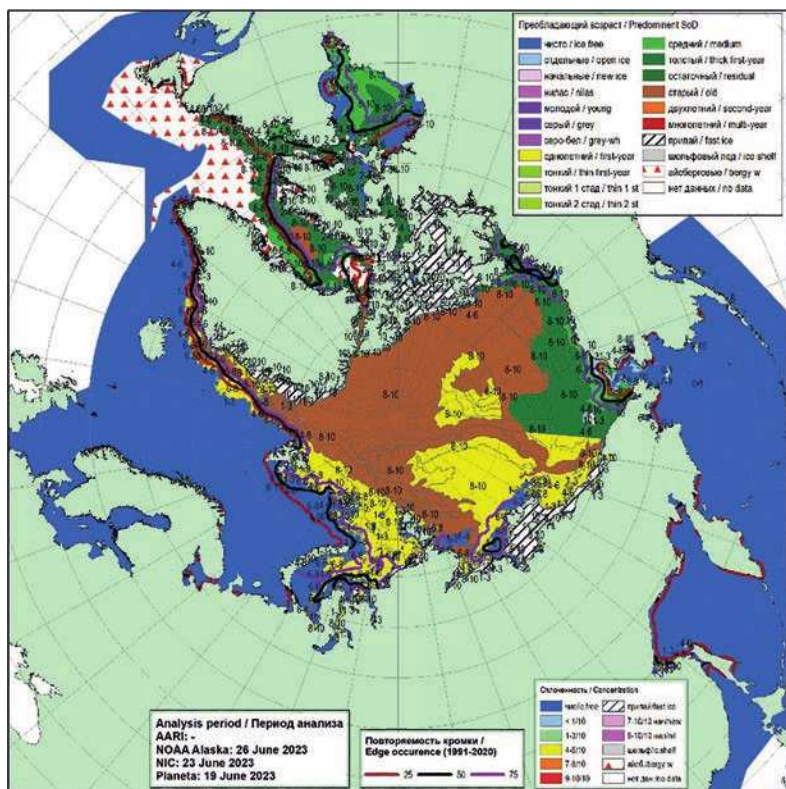


Рис. 2.2.9. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 12—20 июня 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.



Рис. 2.2.10. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июне 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

В возрастном составе льда на начало активного таяния и разрушения льдов преобладали однолетние толстые и средние льды. Образование начальных и молодых льдов в окраинных морях прекратилось. Старые льды занимали около 35 % акватории океана. Площадь однолетних льдов, среди которых преобладали однолетние толстые льды, составляла около 60 %. Остальную часть акватории СЛО занимали зоны чистой воды, разряжения и полыньи за припаем вдоль побережий.

Основными очагами очищения морей послужили прикромочная зона в северной части Баренцева моря, вся юго-западная часть Карского моря, западная часть и заприпайный район моря Лаптевых, а также район, прилегающий к Берингову проливу в Чукотском море (рис. 2.2.9).

В июне в поле дрейфа льда в СЛО изменений практически не произошло. Наблюдалось сохранение тех же структур дрейфа, которые сформировались в мае.

В западном районе СЛО, к северу от моря Лаптевых, сохранялся обширный циклонический вихрь, западная периферия которого приносила льды в Карское море и море Лаптевых, а восточная периферия формировала Трансарктический перенос, который был значительно смещен в восточный район СЛО. Скорость дрейфа льда в циклоническом вихре была низкой и составляла 3—5 км/сут, а в Трансарктическом переносе — около 5 км/сут.

В Восточно-Сибирском море сформировался небольшой антициклонический вихрь, размеры которого не превосходили размеров моря. Скорость дрейфа была невелика и не превышала 2—3 км/сут.

Канадский антициклонический круговорот переместился на акваторию моря Бофорта и был значительно меньше своих обычных размеров. Его центр располагался над северной частью моря Бофорта. Скорость дрейфа в круговороте также уменьшилась и составляла менее 5 км/сут (рис. 2.2.10).

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

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям за каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период июль — сентябрь 2023 г. приведены на рис. 2.3.1 — 2.3.9.

В июле продолжалось интенсивное очищение морей западного района российского сектора Арктики (Баренцево море, юго-западная часть Карского моря, восточная часть моря Лаптевых), а также наблюдалось активное очищение юго-восточной части Чукотского моря со стороны Берингова пролива. В конце второй декады июля исчезли сплоченные льды новосибирского ледяного массива в юго-западной части Карского моря. К концу июля на большей части акватории морей западного района российского сектора Арктики наблюдались обширные пространства редких льдов и чистой воды. Аномалии ледовитости в этих морях составляли –10...–20 %. Значительно медленнее процессы таяния развивались в северо-восточной части Карского моря, западной части моря Лаптевых и Восточно-Сибирском море. В этих морях преобладали сплоченные льды.

Припай в районе архипелага Новосибирские острова практически полностью разрушился в конце первой декады июля, что произошло в среднем на 10—15 суток раньше средних многолетних сроков. Припай в проливе Вилькицкого уже был взломан к началу июля. Припай островов Канадского Арктического архипелага в течение июля начал частично разрушаться, но сохранялся до конца месяца. Для летнего сезона 2023 г. было характерно раннее разрушение припая (рис. 2.3.1).

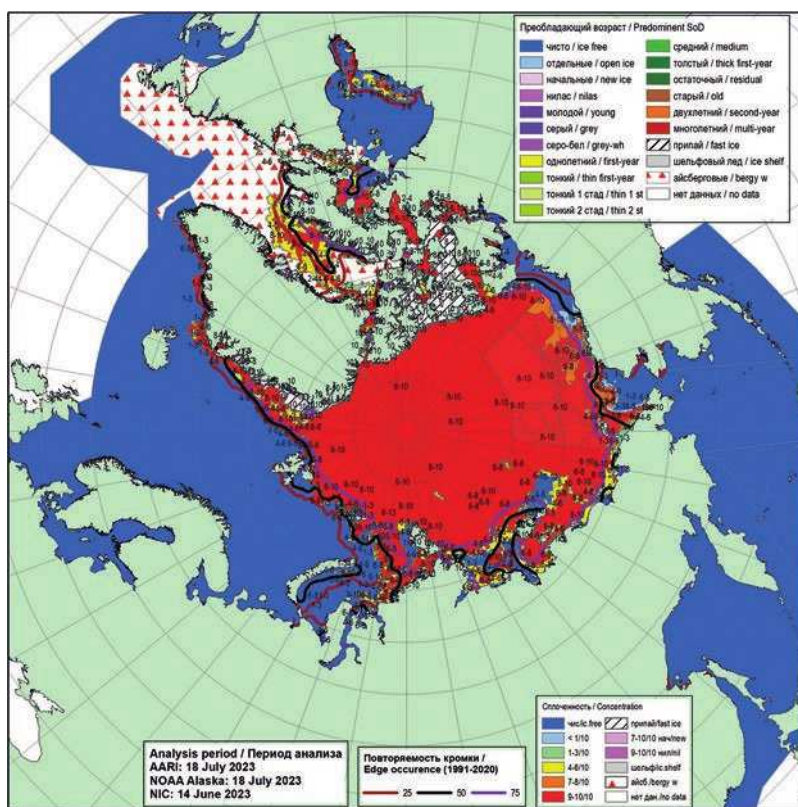


Рис. 2.3.1. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 14—18 июля 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

Вынос однолетних толстых и старых льдов из СЛО через пролив Фрама был близок к среднему многолетнему значению, что прослеживается по ширине ледового потока и скорости дрейфа.

В возрастном составе льда наблюдалось дальнейшее сокращение количества однолетних толстых льдов в окраинных морях. Ледовитость всех арктических морей начала интенсивно уменьшаться за счет разрушения молодых и однолетних тонких и средних льдов. Значительное количество старых льдов сохранилось в северной части моря Лаптевых. Локальные полосы и пятна старых льдов сохранялись в восточной части Восточно-Сибирского моря. В целом по СЛО старые льды наблюдались в гринландском и канадском секторах СЛО, а также частично в приполюсном районе (рис. 2.3.2).

Среднемесячное поле дрейфа ледяного покрова в СЛО приведено на рис. 2.3.3. В июле наблюдалось нетипичное поле дрейфа: сформировалось несколько крупномасштабных структур дрейфа.

Наблюдалось хорошо выраженное развитие Трансарктического переноса льдов со значительной скоростью дрейфа — до 5—10 км/сут. Стрежень переноса был значительно смещен на восток. Он брал свое начало в северо-восточной части Восточно-Сибирского моря. Далее поток дрейфующих льдов через приполюсный район вдоль меридиана 180° выносился в пролив Фрама.

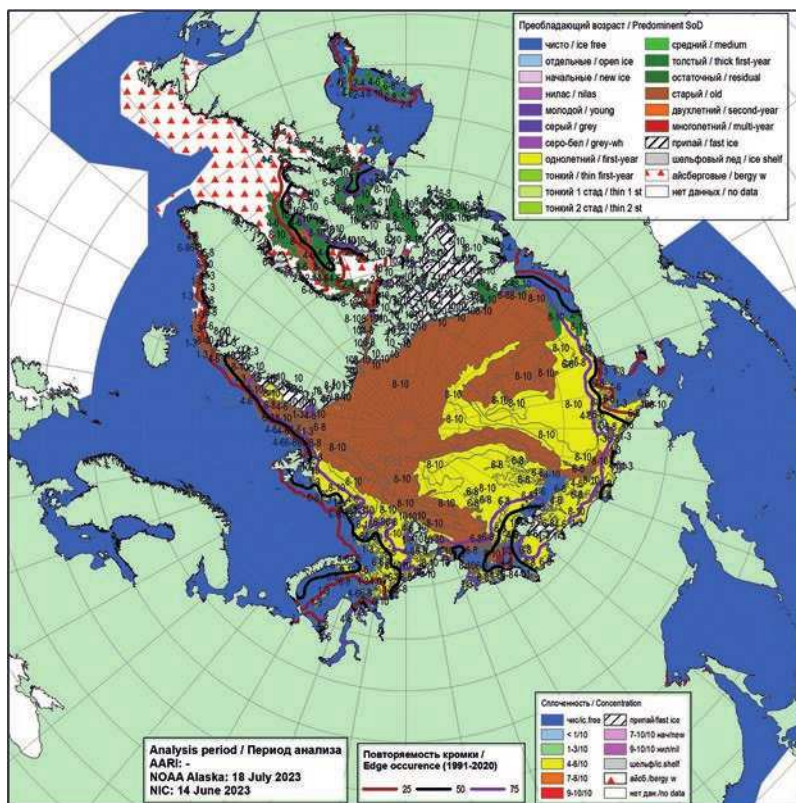


Рис. 2.3.2. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 14—18 июля 2023 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛЦ США.

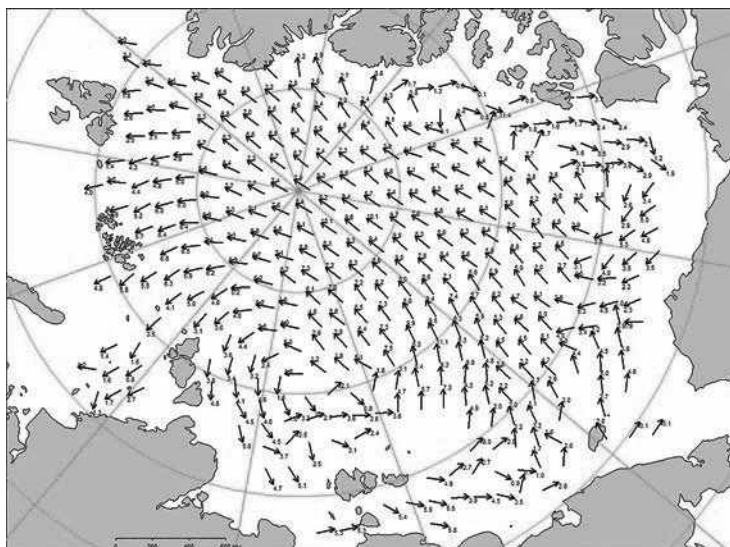


Рис. 2.3.3. Поле скорости дрейфа морского льда в июле 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

Одновременно с хорошо развитым Трансарктическим переносом льдов на акватории океана сформировались два слабо выраженных вихря, один из которых наблюдался в западной части СЛО, а второй — в восточной.

Первый вихрь сформировался над северной частью моря Лаптевых и имел циклонический характер. Средняя скорость дрейфа составляла менее 5 км/сут. Ледяной покров из восточной части моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря перемещался на север вдоль меридиана 150° в.д. и далее разделялся на две ветви. Одна часть вихря соединялась с Трансарктическим переносом, а другая возвращалась вдоль северных границ морей Карского и Лаптевых в северо-восточную часть Карского моря и западную часть моря Лаптевых, поддерживая в этих районах высокую ледовитость.

Вихрь в восточной части СЛО представлял собой слабо выраженный Канадский антициклонический круговорот с центром над северной частью моря Бофорта. Интенсивность и скорость дрейфа в этом антициклоническом круговороте были невелики — менее 5 км/сут (см. рис. 2.3.3).

В течение августа продолжалось интенсивное сокращение ледяного покрова в СЛО и его морях. Уменьшение площади льда происходило в основном за счет его разрушения в окраинных морях российского сектора Арктики — в Баренцевом, Карском и Чукотском. Интенсивно очищались прибрежные мелководные акватории восточной части моря Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря. В первой декаде августа исчезли сплоченные льды Янского ледяного массива в восточной

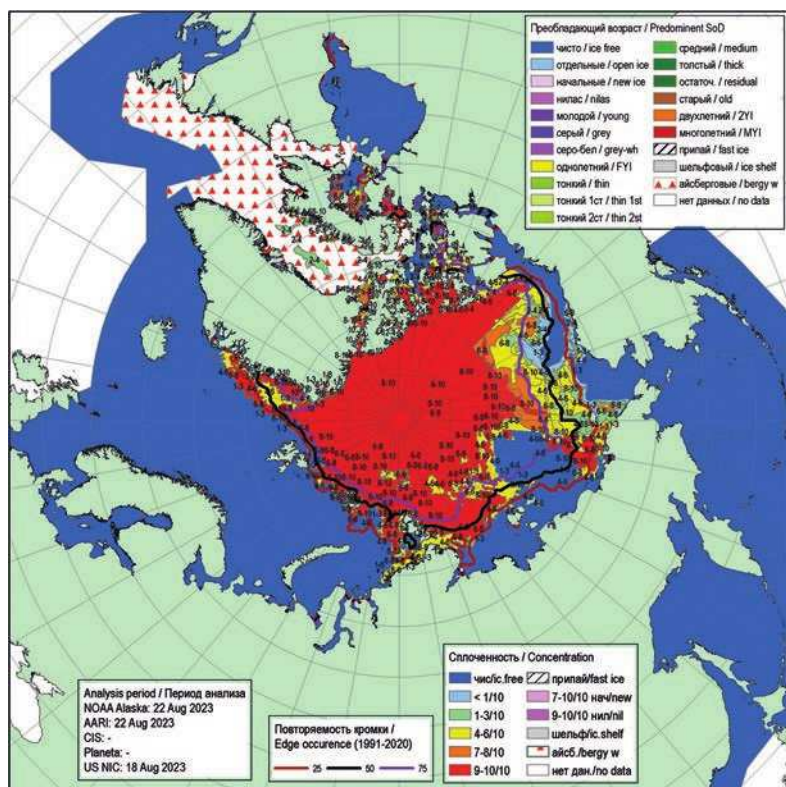


Рис. 2.3.4. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 18—22 августа 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

части моря Лаптевых, а в середине августа разрушились льды Новосибирского ледяного массива в западной части Восточно-Сибирского моря.

Началось разражение льдов в прибрежных частях моря Бофорта. В морях Баренцевом, Карском, Лаптевых и Чукотском сформировались большие отрицательные аномалии ледовитости, составляющие от -10 до -20% . В Баренцевом море граница отступления дрейфующих льдов была близка к среднему многолетнему положению. В западной части Восточно-Сибирского моря граница дрейфующих льдов занимала аномально высокое северное положение. В целом ряде районов морей — северо-восточной части Карского моря, западной части моря Лаптевых, восточной части Восточно-Сибирского моря, юго-западной части Чукотского моря — граница дрейфующих льдов была близка к аномально южному положению и наблюдалась в непосредственной близости от берега.

В середине августа произошло полное разрушение припая в районе островов Канадского Арктического архипелага (рис. 2.3.4).

Возрастной состав льдов СЛО и его морей был представлен старыми и однолетними льдами. Старые льды наблюдались в гренландском и канадском секторах Арктики, а также в части приполюсного района Арктики. Оставшиеся льды состояли из однолетних толстых льдов различной сплоченности и разрушенности. Много сплоченных льдов наблюдалось в северных частях морей и в трассовой части СМП — в северо-восточной части Карского моря, западной части моря Лаптевых, восточной части Восточно-Сибирского моря и в проливе Лонга. Аномалии площадей ледяных массивов в этих морях составляли $10\text{—}20\%$ (рис. 2.3.5).

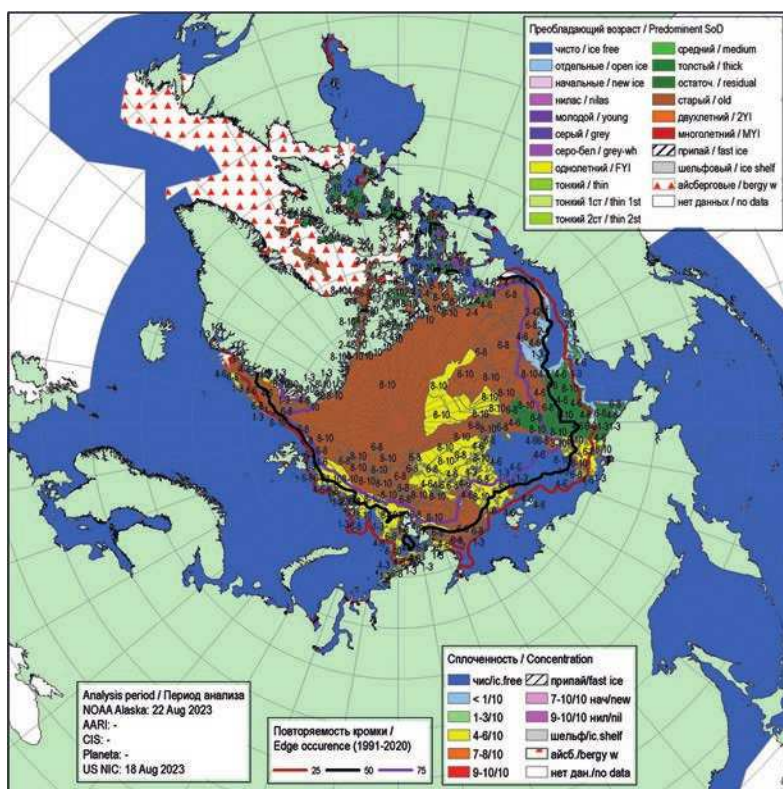


Рис. 2.3.5. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 18—22 августа 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

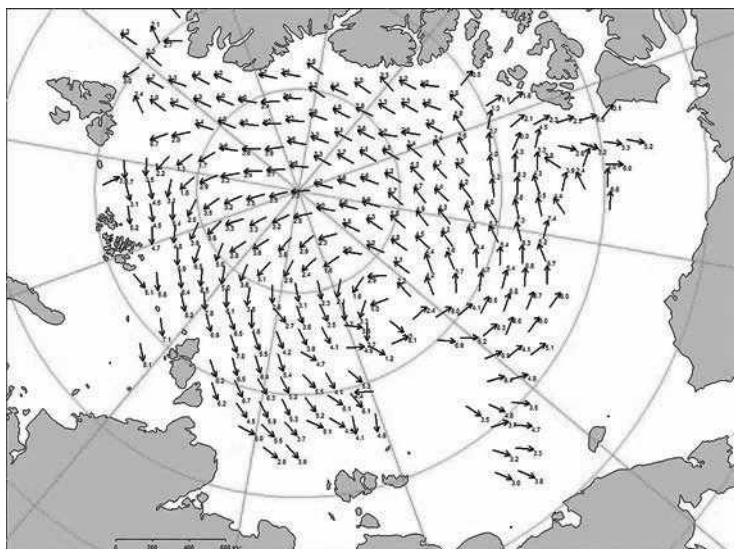


Рис. 2.3.6. Поле скорости дрейфа морского льда в августе 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

В августе в поле дрейфа ледяного покрова произошли существенные изменения. Исчезли наблюдавшиеся в июле два слабо выраженных вихря в западной и восточной частях СЛО, а также разрушился Трансарктический перенос льда. Вместо него сформировался необычный для СЛО, но хорошо выраженный циклонический круговорот, распространившийся на значительную часть акватории СЛО. Центр циклонического круговорота размещался в точке 83° с.ш., 170° в.д. Скорость дрейфа в циклоническом круговороте составляла 3—6 км/сут на периферии и 2—3 км/сут в центральной части.

Над морем Бофорта отмечался слабо развитый Канадский антициклонический круговорот с центром над северной частью моря Бофорта. Интенсивность дрейфа в этом антициклоническом круговороте была невелика, и скорость его составляла менее 5 км/сут (рис. 2.3.6).

В середине сентября площадь ледяного покрова в СЛО достигла своего минимального значения. В конце сентября сокращение площади льдов полностью прекратилось. Среди остаточных льдов к северу от параллелей 80 — 82° с.ш. стало наблюдаться появление начальных и молодых льдов.

В середине третьей декады сентября в прикромочной зоне на чистой воде по широкому фронту от Баренцева моря до моря Бофорта и среди островов Канадского Арктического архипелага началось ледообразование, что в среднем произошло на 10—15 суток позже средних многолетних сроков. Начальные и молодые льды вышли за границы остаточных льдов и в виде узкой полосы (шириной 10—50 км) наблюдались южнее границы остаточных льдов в северной части Карского и Восточно-Сибирского морей.

Таким образом, характерной чертой осеннего ледообразования 2023 г. является его позднее начало и медленное развитие на начальном этапе.

Основная масса льдов, сохранившихся после периода летнего таяния, была смещена в западную часть СЛО. Значительная часть акватории восточных морей

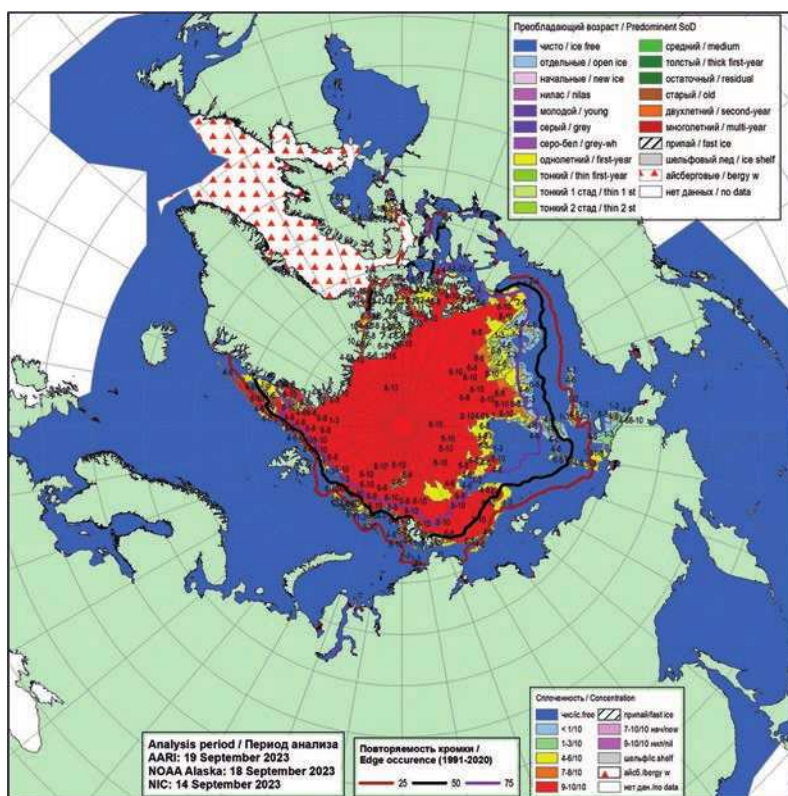


Рис. 2.3.7. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 14—19 сентября 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США.

(Восточно-Сибирского, Чукотского и Бофорта) были свободны ото льда. Массив остаточных льдов наблюдался в гренландском и канадском секторах СЛО и в приполюсном районе. Обширный язык остаточных льдов сохранился в северо-западной части моря Лаптевых, остаточные льды сохранились также среди островов Канадского Арктического архипелага (рис. 2.3.7).

Положение границы дрейфующих льдов в сентябре 2023 г. было близким к среднему многолетнему в Гренландском, Баренцевом и Карском морях. В Восточно-Сибирском море наблюдалось значительное смещение границы остаточных льдов к северу. В Чукотском море и море Бофорта граница остаточных льдов была близка к своему крайнему северному положению (рис. 2.3.8).

Дрейф ледяного покрова в сентябре приведен на рис. 2.3.9. В сентябре сформировался традиционно наблюдаемый в СЛО Трансарктический перенос льдов, который был выражен достаточно хорошо. Перенос льдов начинался к северу от Чукотского моря и через приполюсный район выносил льды в пролив Фрама. Скорость дрейфа льдов составляла 5—10 км/сут.

Канадский антициклонический круговорот отсутствовал полностью. К северу от моря Лаптевых наблюдался мезомасштабный циклонический круговорот, приводящий к постоянному переносу льдов в западную часть моря Лаптевых. Скорость дрейфа ледяного покрова была незначительной и составила менее 5 км/сут.

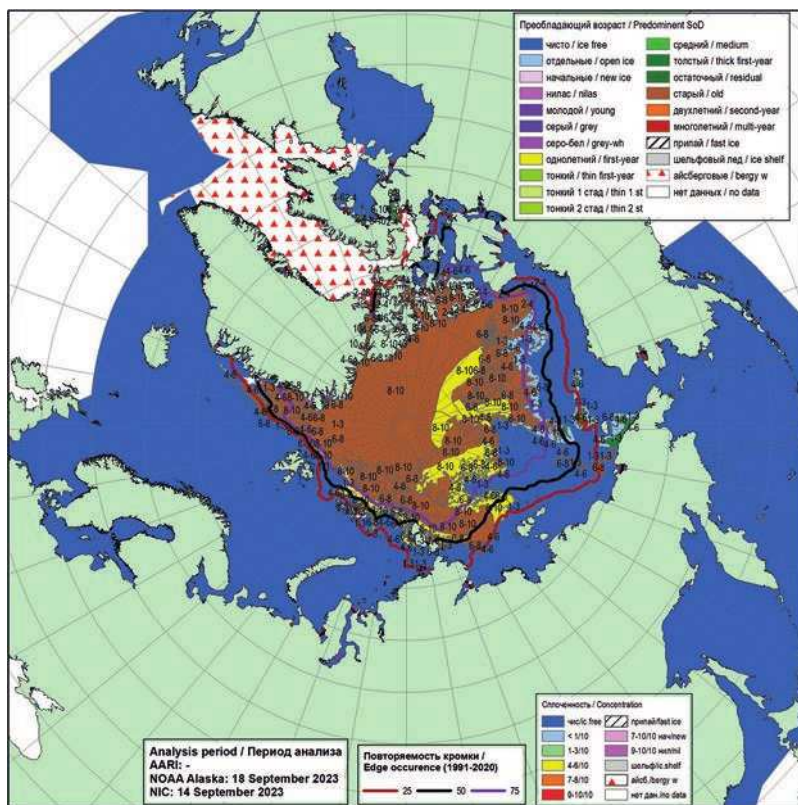


Рис. 2.3.8. Обзорная ледовая карта СЮ по возрасту за 14—19 сентября 2023 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛС США.

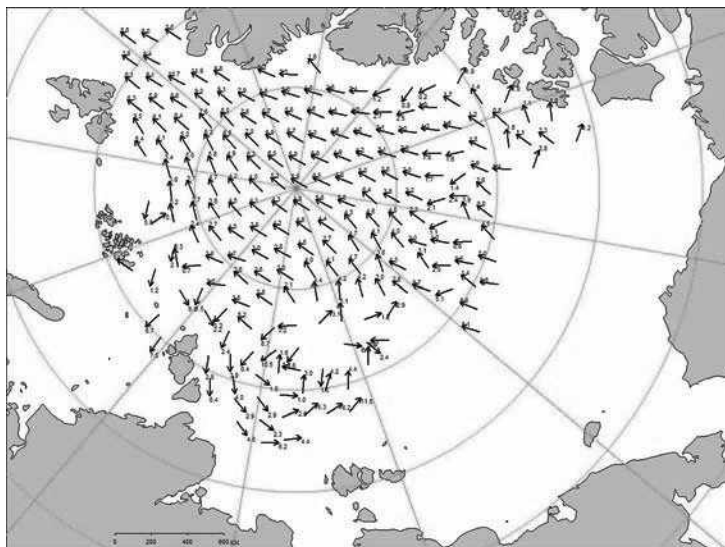


Рис. 2.3.9. Поле скорости дрейфа морского льда в сентябре 2023 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне.

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

Распределение ледяного покрова по возрастным градам и по сплоченности, а также поля среднемесячного дрейфа льда за каждый месяц за период октябрь — декабрь 2023 г. приведены на рис. 2.4.1 — 2.4.9.

Ледообразование в СЛО в осенний период 2023 г. началось в массиве старых и остаточных льдов в начале сентября. Во второй декаде сентября начальные льды появились на открытой воде среди островов Канадского Арктического архипелага. В третьей декаде сентября молодые льды вышли за границы старых и остаточных льдов и стали наблюдаться на чистой воде в виде полосы шириной 50—100 миль между меридианами 90—150° в.д.

Наиболее интенсивное развитие молодых льдов наблюдалось в северных частях морей Баренцева, Карского и Лаптевых. На северной границе восточных морей — Восточно-Сибирского, Чукотского и Бофорта — появления начальных и молодых льдов до конца сентября не наблюдалось. Необходимо отметить, что в этих морях вплоть до конца сентября наблюдалось сокращение площади льдов.

В первой декаде октября молодые льды наблюдались на чистой воде в прикромочной зоне на широком фронте от Гренландского моря до моря Бофорта. Ширина полосы составляла от 100 до 200 км. В конце первой декады октября начальные и молодые льды появились на акватории двух арктических морей — в северо-восточной части Карского моря и на северной границе моря Лаптевых.

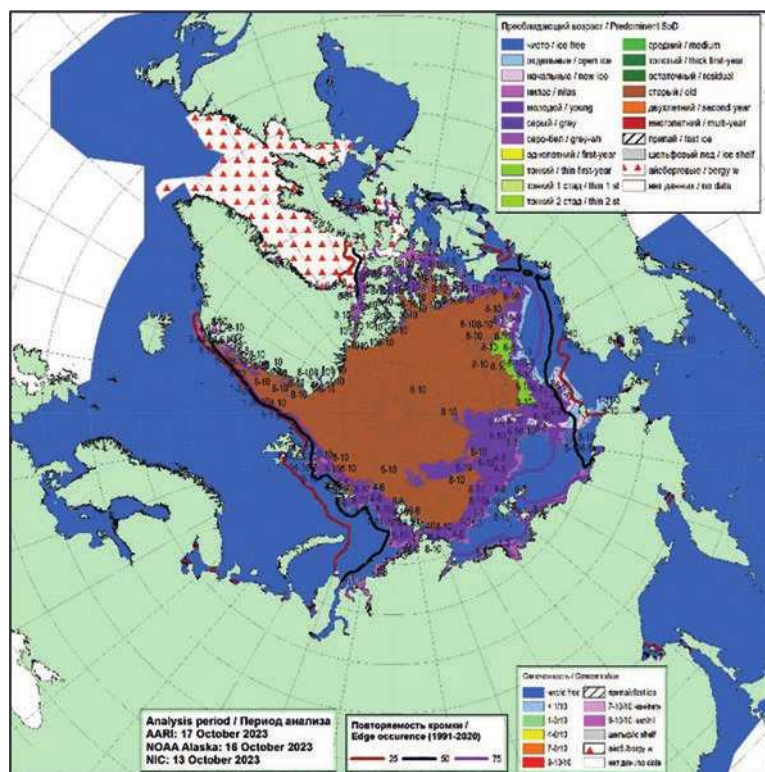


Рис. 2.4.1. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 13—17 октября 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

Ледообразование развивалось интенсивно. В середине октября ледообразование охватило акватории большинства арктических морей — северную часть Карского моря, северную и прибрежную части моря Лаптевых, всю акваторию восточной части Восточно-Сибирского моря и прибрежную часть Чукотского моря (рис. 2.4.1).

В третьей декаде октября свободными ото льда оставались следующие акватории: Баренцево море, юго-западная часть Карского моря, восточная часть Чукотского моря и прибрежная часть моря Бофорта. На акватории остальных морей наблюдались молодые льды. В северо-западной части моря Лаптевых сохранялись протяженные языки остаточных и старых льдов.

Количество молодых льдов, появившихся в СЛО с середины сентября по середину октября, составило около 1,9 млн км², что было очень близко к среднему многолетнему значению (1,8 млн км²) за длинный ряд наблюдений (1979—2021 гг.).

Поле сплоченности ледяного покрова в районах, в которых ледообразование уже началось, было достаточно однородным. Здесь преобладали льды сплоченностью 9—10 баллов. Вокруг островов Канадского Арктического архипелага началось становление припая (рис. 2.4.2).

Граница дрейфующих льдов располагалась близко к своему среднему многолетнему положению в морях Гренландском, Баренцевом, Карском и Лаптевых. В восточных арктических морях (Восточно-Сибирском, Чукотском и Бофорта) граница льдов располагалась значительно севернее среднего многолетнего положения. Это свиде-

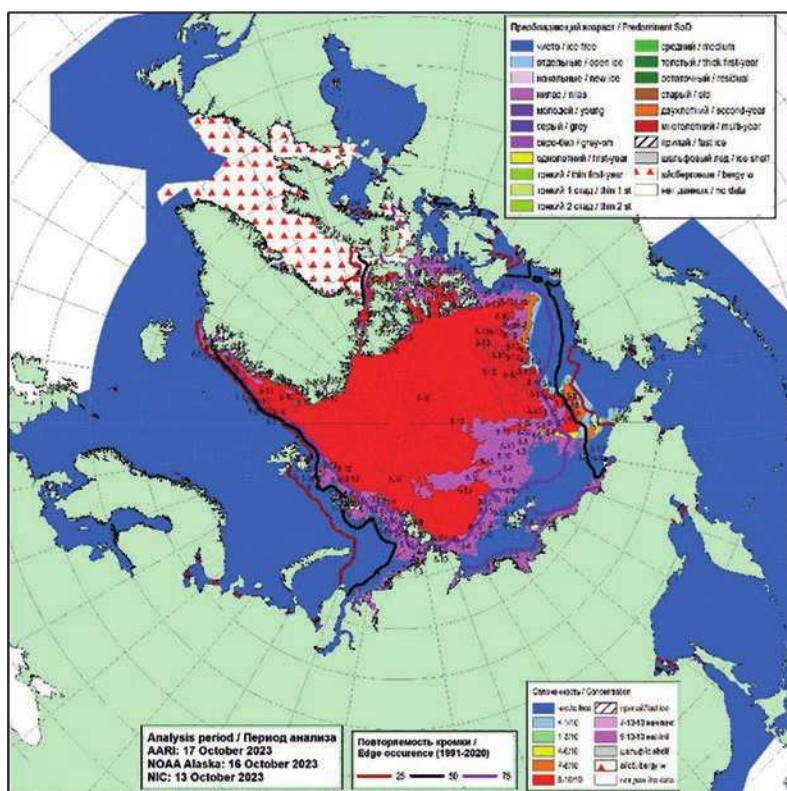


Рис. 2.4.2. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 13—17 октября 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

тельствует о близком к среднему развитию осенних ледовых процессов в западных арктических морях и более медленном в восточных морях в октябре 2023 г.

В октябре над СЛО сформировались две традиционные крупномасштабные структуры дрейфа — Трансарктический перенос льдов и Канадский антициклонический круговорот. Трансарктический перенос льдов был выражен хорошо. Его стрежень был смещен к западу, к островам арктических архипелагов Северная Земля, Земля Франца Иосифа, Шпицберген. Перенос льдов начинался из северо-западной части моря Лаптевых, и через приполюсный район льды выносились в пролив Фрама. Скорость дрейфа льдов составляла около 2—4 км/сут, но в проливе Фрама скорость дрейфа увеличивалась до 5—10 км/сут.

Канадский антициклонический круговорот также был хорошо развит. Центр круговорота был смещен в приполюсный район. Это смещение привело к объединению западной ветви круговорота с Трансарктическим переносом льда и формированию в приполюсном и гренландском секторах СЛО мощного единого выносного потока льда. Значительная часть этого потока выносилась в пролив Фрама, но часть потока поворачивала в канадский и аляскинский секторы СЛО и далее уходила в северную часть моря Бофорта.

В центральной части Канадского антициклонического круговорота скорость дрейфа была ниже и составляла 2—3 км/сут, а на периферии круговорота возрастала до 3—5 км/сут. В северной части Восточно-Сибирского моря наблюдалось формирование локального антициклонического круговорота, выносящего льды из его восточной части и приносящего их в северную часть Чукотского моря. Скорость дрейфа ледяного покрова была значительной и составляла 5—10 км/сут (рис. 2.4.3).

В ноябре продолжалось интенсивное развитие ледообразования и увеличение площади молодых и однолетних льдов. В середине ноября молодыми льдами были покрыты акватории всех арктических морей, кроме Баренцева моря, юго-запада Карского моря и восточной части Чукотского моря. На акватории этих морей сохранялись обширные зоны чистой воды. Количество молодых льдов, появившихся

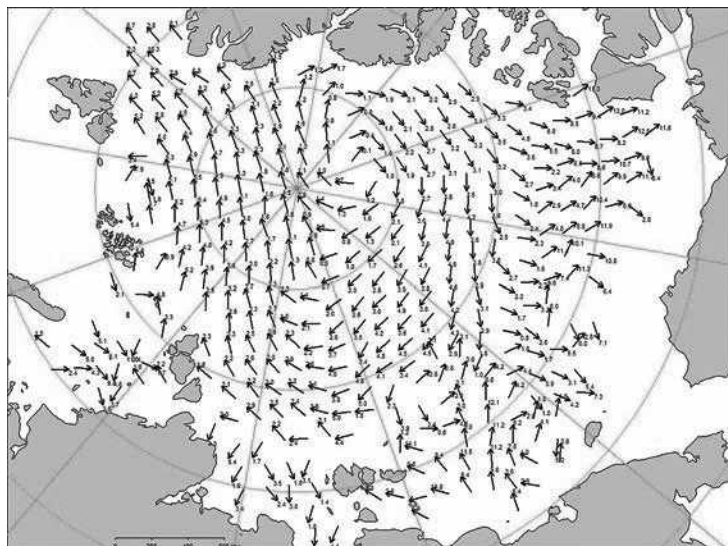


Рис. 2.4.3. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в октябре 2023 г.

в СЛО с середины октября по середину ноября, составило 3,11 млн км², что значительно, на 38 %, превысило среднее многолетнее значение (2,28 млн км²).

Нарастание ледяного покрова по толщине также было значительным, что прослеживалось по увеличению площади однолетних тонких льдов (диапазон толщины 30—70 см). Если в конце октября однолетние тонкие льды только появились в северной части моря Лаптевых и в Восточно-Сибирском море, то в середине ноября они распространились на значительную часть акватории всех морей — от северо-восточной части Карского моря до моря Бофорта.

Старые льды занимали весь приполюсный район, гренландский и канадский секторы, а также северную часть аляскинского сектора Арктики. В морях Лаптевых и Бофорта сохранялись обширные языки остаточных льдов. Сплоченные льды наблюдались по всей акватории океана и его окраинных морей. Свободной ото льда оставалась значительная часть акватории Баренцева моря, небольшие части акватории юго-западной части Карского моря и восточной части Чукотского моря. В этих морях развитие ледяного покрова в ноябре было близким к норме, о чем свидетельствует положение границы дрейфующего льда, близкое к среднему многолетнему (рис. 2.4.4).

Среди островов Канадского Арктического архипелага установился сплошной припай. В конце ноября припай начал формироваться среди островов российских архипелагов Северная Земля и Новосибирские острова, а также вдоль побережий морей (рис. 2.4.5).

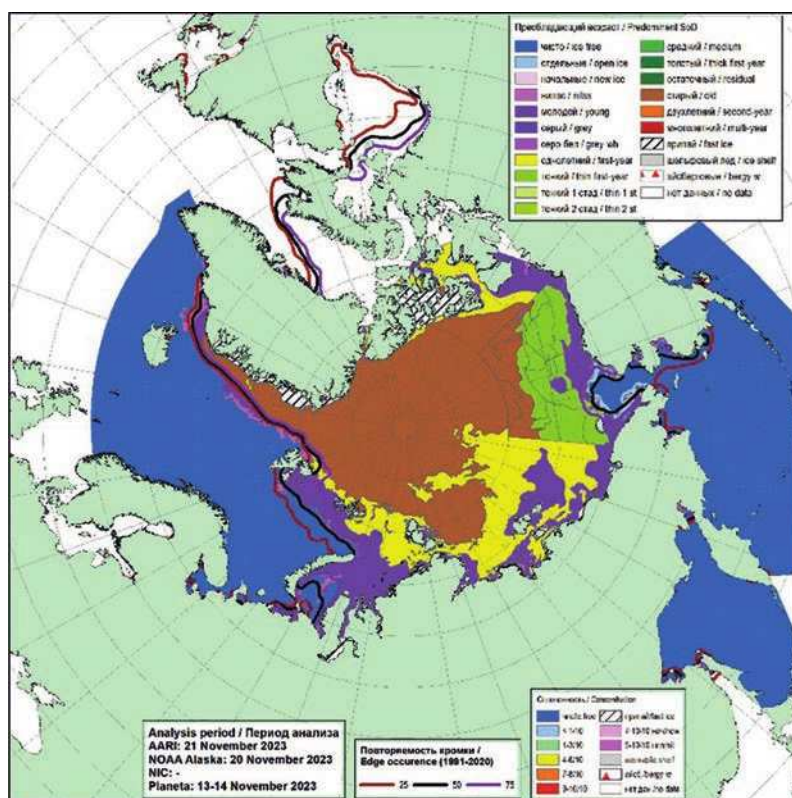


Рис. 2.4.4. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 13—21 ноября 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

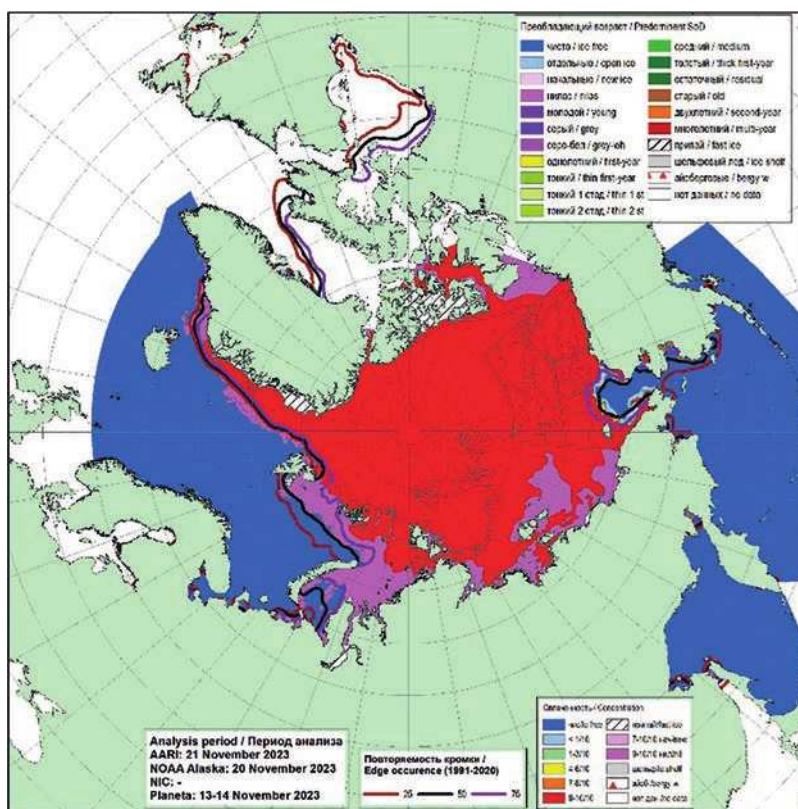


Рис. 2.4.5. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 13—21 ноября 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

В ноябре в поле дрейфа льда в СЛО произошли существенные изменения. Произошедшие масштабные изменения в циркуляции атмосферы привели к формированию двух основных структур дрейфа.

Первой крупномасштабной структурой стал обширный циклонический круговорот в приполюсном районе с центром к северу от границы моря Лаптевых, а второй — менее развитый и смещенный в море Бофорта Канадский антициклонический круговорот (рис. 2.4.6).

Сформировавшийся циклонический вихрь охватывал обширную акваторию в западной части российского сектора и приполюсном районе СЛО. По южной периферии вихря наблюдался дрейф льда в восточном направлении, проходящий через море Лаптевых и западную часть Восточно-Сибирского моря. Далее этот поток выносил лед в приполюсный район. По западной периферии вихря лед приносило в северо-восточную часть Карского моря и в западную часть моря Лаптевых. Скорость дрейфа не превышала 5—7 км/сут.

Канадский антициклонический круговорот существовал в виде обширного вихря с центром над морем Бофорта. Интенсивность дрейфа льда в Канадском антициклоническом круговороте была невелика; скорость дрейфа не превышала 5 км/сут на периферии круговорота и 1—2 км/сут в центральной части вихря.

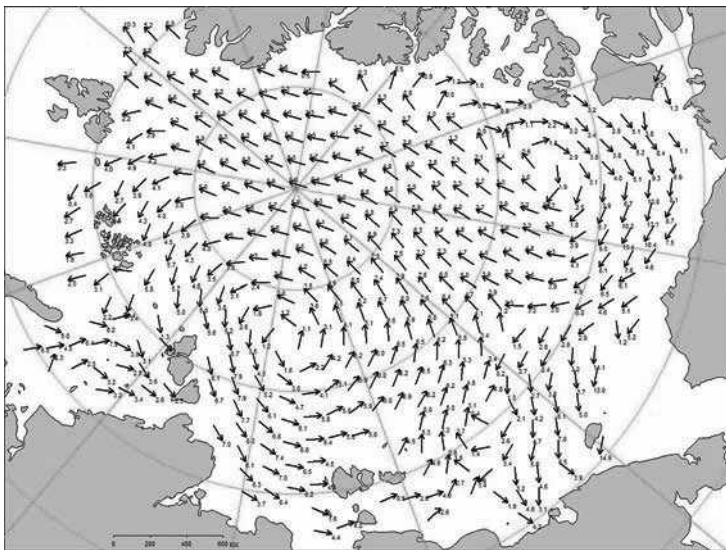


Рис. 2.4.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в ноябре 2023 г.

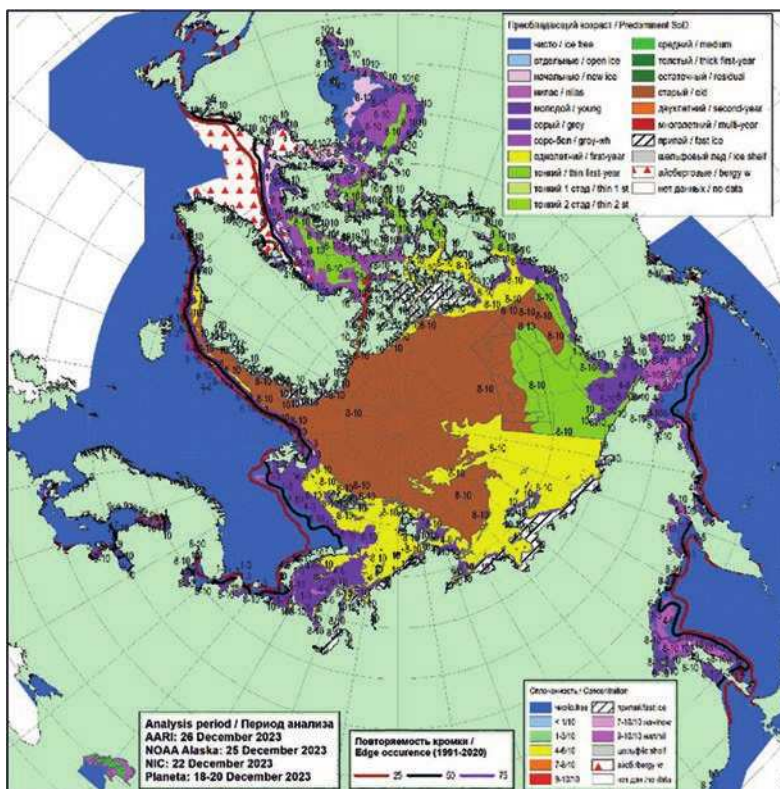


Рис. 2.4.7. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту льда за 18—20 декабря 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛЦ и НЛЦ США.

В декабре продолжилось увеличение площади и толщины ледяного покрова. Однако интенсивность нарастания льда по площади по сравнению с ноябрем уменьшилась и приблизилась к норме. Количество молодых и однолетних льдов, появившихся в СЛО и его морях с середины ноября по середину декабря, составило 1,46 млн км², что оказалось только на 8 % больше среднего многолетнего значения (1,35 млн км²).

В середине декабря ледообразование охватило всю северную часть Баренцева моря, а также полностью Карское и Чукотское моря. Свободной ото льда оставалась только южная часть Баренцева моря. На акватории Баренцева моря, юго-западной части Карского моря и восточной части Чукотского моря наблюдались молодые льды (серые и серо-белые). На акватории остальных морей наблюдалось преобладание однолетнего тонкого льда (рис. 2.4.7).

По всей акватории СЛО и его морей сформировалось однородное поле льда сплошностью 9—10 баллов. Крупных разрывов и разрежений в ледяном покрове не наблюдалось. Граница распространения дрейфующих льдов в Гренландском и Баренцевом морях проходила близко к своему среднему многолетнему положению. В течение декабря продолжилось развитие припая в районе архипелагов Северная Земля и Новосибирские острова. В середине декабря полностью замерзли проливы Новосибирских островов. Припай окончательно установился вдоль всего побережья российских арктических морей. Формирование обширного припая произошло в районе островов Канадского Арктического архипелага. Заприпайные полыньи были развиты слабо (рис. 2.4.8).

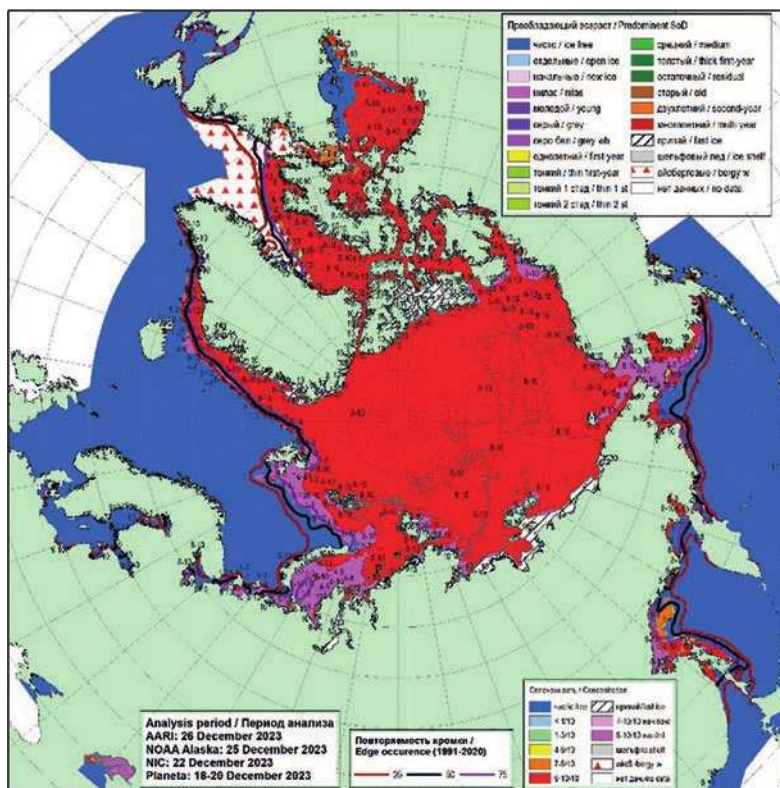


Рис. 2.4.8. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности льда за 18—20 декабря 2023 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛЦ США.

В декабре в поле дрейфа ледяного покрова произошли существенные изменения по сравнению с ноябрем. Сформировавшееся поле дрейфа также было очень необычным. Трансарктический перенос льда был развит очень слабо и значительно смещен к западу. Перенос начинался в северной части Карского моря и далее, проходя вдоль архипелагов Земля Франца Иосифа и Шпицберген, выносился в пролив Фрама. Средняя скорость дрейфа составляла 2—4 км/сут.

Канадский антициклонический круговорот был хорошо развит. Центр круговорота был смещен в приполюсный район. Поток льда из приполюсного района переносился к северному побережью Гренландии, и далее вдоль островов Канадского



Рис. 2.4.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в декабре 2023 г.

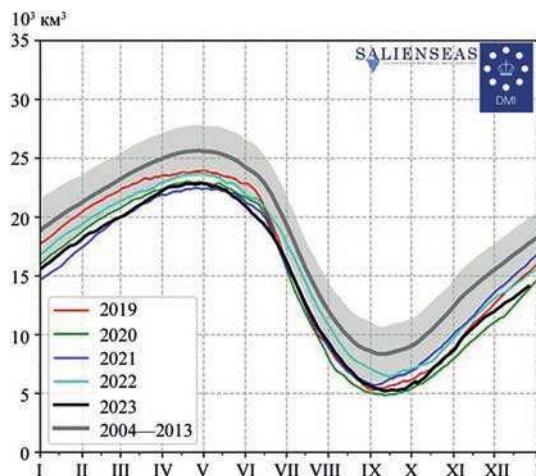


Рис. 2.4.10. Ежедневные оценки сезонного хода объема морского льда в СЛО (10^3 км^3) на основе расчетов средневзвешенной толщины льда по совместной модели морского льда — океана HYCOM/CICE Датского метеорологического института с 1 января 2004 г. по 26 декабря 2023 г.

Арктического архипелага льды поступали в аляскинский сектор СЛО и затем в море Бофорта и северную часть Чукотского моря. В центральной части Канадского антициклонического круговорота скорость дрейфа составляла 2—3 км/сут, а на периферии круговорота возрастала до 5—10 км/сут.

Одновременно с формированием несколько измененных, но традиционных структур дрейфа, сформировался очень необычный восточный перенос льдов. Он начинался от островов архипелага Северная Земля и переносил льды в восточном направлении через акваторию морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. В результате этого переноса большое количество льда поступало в Восточно-Сибирское море. Скорость дрейфа льда в нем была невелика и составляла 2—4 км/сут (рис. 2.4.9).

На рис. 2.4.10 приведены оценки сезонного хода объема морского льда в СЛО на основе расчетов средневзвешенной толщины льда по совместной модели морского льда — океана NUCOM/CICE Датского метеорологического института, дающей возможность оценить сезонные и межгодовые изменения объема морского дрейфующего льда в СЛО. Согласно результатам расчетов, в первой половине года объем льда был ближе к минимальным наблюдаемым значениям и занимал второе место по рангу в ряду минимумов, превосходя только 2021 г. В результате летнего таяния, которое было менее интенсивным, чем в предыдущие годы, объем льда, сохранившегося в конце периода таяния (в сентябре) в 2023 г., оказался на третьем-четвертом месте по рангу в ряду минимумов, превышая объем льда, сохранившегося в 2019—2020 гг., и приближаясь к значениям за 2021 г.

На рис. 2.4.11 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для СЛО и его отдельных секторов по годам (за период с октября 1978 г. по декабрь

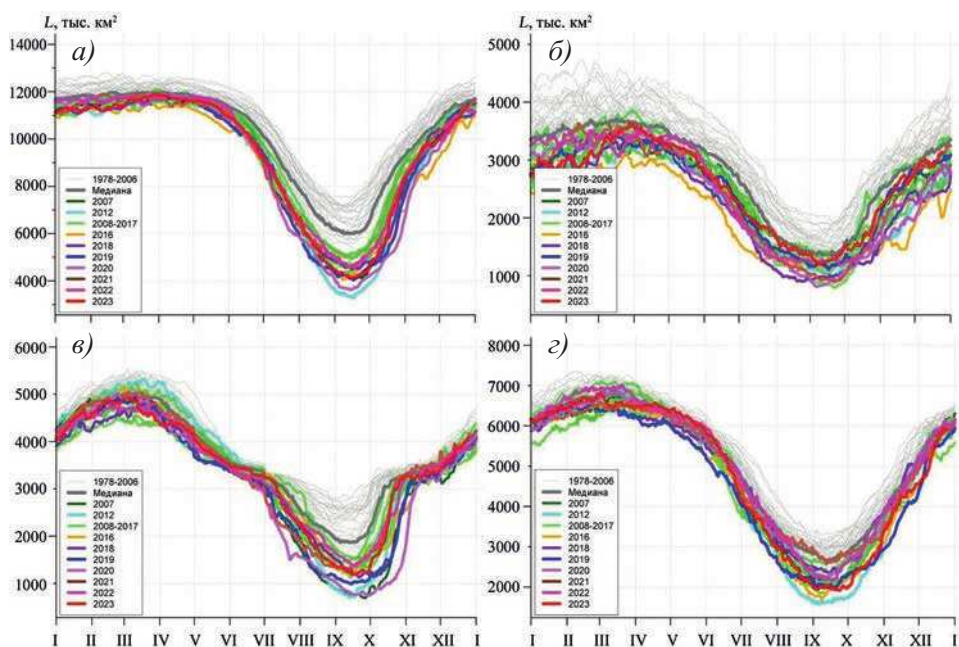


Рис. 2.4.11. Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и трех меридиональных секторов за период с 26 октября 1978 г. по 2 декабря 2023 г. по годам на основе расчетов по данным SSMR — SSM/I — SSMIS — AMSR2.

- 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);
 з) сектор 170 — 45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика).

2023 г.) на основе расчетов по данным SSMR — SSM/I, алгоритм NASATEAM. По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в конце декабря 2023 г. составила 11,12 млн км² при норме 11,52 млн км², т. е. оказалась на 3,5 % меньше средних многолетних значений. Площадь распространения льдов в конце года в 2023 г. оказалась близка к среднему многолетнему значению за ряд наблюдений с 1978 по 2023 г.

Сезонный ход ледовитости СЛО показывает, что общее количество льдов в течение зимнего и весеннего периодов было близким к средним многолетним значениям для всего ряда наблюдений за 1978—2023 гг. Однако в течение летнего периода общая площадь льдов существенно сократилась и к концу летнего периода таяния оказалась на 27,5 % меньше среднего многолетнего значения за весь ряд наблюдений с 1978 по 2023 г. По общей площади остаточного льда в середине сентября 2023 год стал четвертым по рангу в ряду минимумов в группе легких лет.

В 2023 г. наблюдались следующие интересные особенности развития ледовых условий в разных секторах. Основной вклад в формирование легких ледовых условий в течение года вносили моря двух секторов Арктики: сектор 95° в.д. — 170° з.д. (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское) и сектор 170—45° з.д. (море Бофорта и канадская Арктика). Напротив, в секторе 45° з.д. — 95° в.д. (Гренландское — Карское моря) ледовитость в летний сезон 2023 г. была близка к среднему многолетнему значению (норма за 1978—2023 гг.) (рис. 2.4.11).

2.5. ЛЕДОВО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК

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

Ледово-гидрологические условия в устьевых областях рек бассейна Карского моря

Нарастание льда в зимне-весенний период

Наибольшее нарастание льда по толщине на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисей наблюдалось в январе, а в п. Игарка — в январе и феврале. С первой декады февраля по конец апреля на реке Енисей в районе п. Игарка нарастания льда не отмечалось.

В табл. 2.5.1 приведены данные о наблюдаемой толщине льда и интенсивности его ежемесячного нарастания с января по апрель.

Таблица 2.5.1

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

Река	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H	ΔH	H	ΔH	H	ΔH	H	ΔH
Обь	Салехард	101	+20	104	+3	106	+2	107	+1
Таз	Тазовское	92	+26	99	+7	114	+15	118	+4
Енисей	Игарка	74	+18	92	+18	92	0	92	0
	Дудинка	94	+27	107	+13	114	+7	125	+11
	Караул	88	+22	99	+11	112	+13	121	+9

На устьевых участках рек Таз и Енисей толщина льда на конец апреля была меньше средних многолетних значений на 4—14 см, а на реке Оби — на 6 см больше среднего многолетнего значения.

Высота снега на льду в конце апреля составила на реке Оби 16—20 см, на реке Таз 51—70 см, на реке Енисей 21—50 см.

В табл. 2.5.2 приведены значения аномалии толщины льда на конец апреля, т. е. в период, близкий к периоду максимальной толщины льда.

Таблица 2.5.2

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

Река	Пункт	Толщина, см		
		2023 г.	Средняя	Аномалия
Обь	Салехард	107	101	+6
Таз	Тазовское	118	132	–14
Енисей	Игарка	92	96	–4
	Дудинка	125	131	–6
	Караул	121	134	–13

Высота снега на льду в конце апреля составила на реке Таз 51—70 см, на реке Енисей 21—50 см, на реке Оби 16—20 см.

В табл. 2.5.3 приведены данные о нарастании льда ежемесячно с января по апрель.

Таблица 2.5.3

Толщина льда (H , см) и его нарастание (ΔH , см) от месяца к месяцу на устьевых взморьях рек Оби и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H	ΔH	H	ΔH	H	ΔH	H	ΔH
Обская губа	Новый Порт	105	+37	132	+27	153	+21	167	+14
Енисейский залив	Сопочная Карга	109	+27	124	+15	139	+15	149	+10

Наибольшее нарастание льда по толщине на устьевом взморье рек Оби и Енисей наблюдалось в январе.

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

Таблица 2.5.4

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

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2023 г.	Среднее	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	167	141	+26
Енисейский залив	Сопочная Карга	149	163	–14

Толщина льда в конце апреля на устьевом взморье реки Оби превышала среднее многолетнее значение на 26 см, а на устьевом взморье реки Енисей была меньше среднего многолетнего значения на 14 см.

Высота снега на льду в конце апреля составила 55 см в п. Новый Порт и 26 см в п. Сопочная Карга.

Характеристика процесса вскрытия

Признаком начала разрушения льда весной является образование закраин.

Появление воды на льду и закраин на устьевом участке реки Оби отмечено в конце первой декады мая. На реке Таз вода на льду появилась в начале третьей декады мая, закраины — в середине третьей декады мая. На реке Енисей появление воды на льду и закраин наблюдалось в третьей декаде мая повсюду, кроме п. Караул, где вода на льду появилась в конце второй декады мая. Подвижки льда на реке Оби отмечены в конце второй декады мая, на реке Енисей — в третьей декаде мая, на реке Таз — 1 июня.

Весенний ледоход на устьевых участках рек Енисей и Таз начался раньше средних многолетних сроков на 1—7 дней, в п. Салехард на реке Оби наблюдался в срок, соответствующий средней многолетней дате, в п. Дудинка на реке Енисей — на один день позже средней многолетней даты. Очищение на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисей произошло раньше средних многолетних сроков на 18 дней; исключение составил п. Игарка на реке Енисей, где очищение отмечено на 2 дня позже средней многолетней даты.

Продолжительность весеннего ледохода на устьевых участках рек Оби, Таз, и Енисей составила от 0 до 12 суток.

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

Таблица 2.5.5

Сроки вскрытия, очищения и их аномалии на устьевых участках рек

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2023 г.	Средняя	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут
Обь	Салехард	24.05	24.05	0	27.05	28.05	–1
Таз	Тазовское	02.06	09.06	–7	03.06	11.06	–8
Енисей	Игарка	26.05	27.05	–1	07.06	05.06	+2
	Дудинка	04.06	03.06	+1	04.06	10.06	–6
	Караул	04.06	07.06	–3	08.06	15.06	–7

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, очищения и их аномалии на устьевых взморьях рек Оби и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2023 г.	Средняя	Аномалия, сут
Обская губа	Новый Порт	Взлом припая	03.06	18.06	–15
		Очищение ото льда	13.06	26.06	–13
Енисейский залив	Сопочная Карга	Взлом припая	11.06	19.06	–8
		Очищение ото льда	16.06	26.06	–10

Воды на льду, закраин и подвижек льда на устьевых взморьях рек бассейна Карского моря отмечено не было. Взлом припая и очищение устьевых участков рек Оби и Енисей произошли раньше средних многолетних сроков на 8—15 и 10—13 дней соответственно.

Продолжительность ледохода в Обской губе и в Енисейском заливе составила 5—10 дней.

Характеристика процесса замерзания

Замерзание крупных рек бассейна Карского моря, как правило, начинается с появления заберегов. Осенью 2023 г. появление заберегов зафиксировано на 11—16 дней позже средних многолетних сроков.

Устойчивое появление плавучего льда и ледостав также отмечены на 1—14 дней позже средних многолетних сроков. Продолжительность периода с плавучим льдом составила 0—7 дней на реке Енисей и 3—10 дней на реках Таз и Обь.

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		
	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут
Обь, Салехард	31.10	20.10	+11	24.10	23.10	+1	03.11	30.10	+4
Таз, Тазовское	26.10	10.10	+16	25.10	12.10	+13	28.10	14.10	+14
Енисей, Игарка	31.10	17.10	+14	31.10	17.10	+14	31.10	22.10	+9
Енисей, Дудинка	30.10	15.10	+15	30.10	18.10	+12	03.11	24.10	+10
Енисей, Караул	26.10	14.10	+12	26.10	19.10	+7	02.11	22.10	+11

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 и их аномалии на устьевых взморьях рек Оби и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	Ледовая фаза	Дата		
			2023 г.	Средняя	Аномалия, сутки
Обская губа	Новый Порт	Устойчивое появление плавучего льда	24.10	12.10	+12
		Полное замерзание	02.11	20.10	+13
Енисейский залив	Сопочная Карга	Устойчивое появление плавучего льда	24.10	12.10	+12
		Полное замерзание	25.10	23.10	+2

На устьевом взморье появление плавучего льда и полное замерзание происходило на 2—13 дней позже средних многолетних дат. Продолжительность периода с плавучим льдом в п. Сопочная Карга и Новый Порт составила 1 и 9 дней соответственно.

Нарастание льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.9 приведены данные о нарастании льда по толщине за ноябрь — декабрь.

Таблица 2.5.9

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

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H	H	ΔH	H	ΔH
Обь	Салехард	—	23	+23	39	+16
Таз	Тазовское	—	36	+36	61	+25
Енисей	Игарка	—	25	+25	50	+25
	Дудинка	—	39	+39	44*	—
	Караул	—	36	+36	63	+27

*Данные за 5 января 2024 г.

Наибольшее нарастание льда по толщине с момента начала ледообразования на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисей наблюдалось в ноябре. На реке Енисей (п. Игарка) нарастание льда в ноябре и декабре было равномерным.

В табл. 2.5.10 приведены значения аномалии толщины льда в конце декабря по отношению к средним многолетним значениям на устьевых участках рек.

Таблица 2.5.10

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2023 г.	Среднее	Аномалия
Обь	Салехард	39	62	–23
Таз	Тазовское	61	77	–16
Енисей	Игарка	50	59	–9
	Дудинка	44*	—	—
	Караул	63	82	–19

*Данные за 5 января 2024 г.

Толщина льда в конце декабря 2023 г. на устьевых участках рек Оби, Таз и Енисей была меньше средних многолетних значений на 9—23 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от 16—20 до 26—35 см.

В табл. 2.5.11 приведены данные о нарастании льда по толщине 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 , см) и его нарастание (ΔH , см) в осенне-зимний период на устьевых взморьях рек Оби и Енисей

Устьевое взморье	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H	H	ΔH	H	ΔH
Обская губа	Новый Порт	—	33	+33	79	+46
Енисейский залив	Сопочная Карга	12	49	+37	65*	—

*Данные за 5 января 2024 г.

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

Устьевое взморье	Пункт	Толщина льда, см		
		2023 г.	Средняя	Аномалия
Обская губа	Новый Порт	79	77	+2
Енисейский залив	Сопочная Карга	65*	—	—

*Данные за 5 января 2024 г.

В осенне-зимний период наибольшее с момента начала ледообразования нарастание льда на устьевом взморье реки Оби было отмечено в декабре.

Толщина льда в конце декабря 2023 г. на устьевом взморье реки Оби была больше средних многолетних значений на 2 см. Толщина льда на устьевом взморье реки Енисей в конце декабря не была отмечена.

Высота снега на льду на конец декабря на устьевом взморье реки Оби составила 27 см.

Ледово-гидрологические условия на устьевых участках крупных рек бассейна моря Лаптевых***Нарастание льда в зимне-весенний период***

Наибольшее нарастание льда по толщине на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых отмечалось в январе. Исключение составил п. Кюсюр на реке Лене, где наибольшее нарастание льда по толщине наблюдалось в марте. С января по апрель нарастание льда отмечалось во всех пунктах.

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

Таблица 2.5.13

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

Река	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H	ΔH	H	ΔH	H	ΔH	H	ΔH
Хатанга	Хатанга	113	+33	143	+30	151	+8	137	-14
Оленёк	Тюмети	83	+16	89	+6	94	+5	95	+1
	Усть-Оленёк	122*	24	163	+41	168	+5	170	+2
	Кюсюр	106	+17	143	+37	148	+5	155	+7
Лена	Хабарово	161	+43	188	+27	202	+14	209	+7
	(Бык, протока)								
Яна	Юбилейная	69	+23	96	+27	118	+22	133	+15

*Данные за 20 января 2023 г.

В табл. 2.5.14 приведены аномалии толщины льда на конец апреля, т. е. в период, близкий к периоду максимального нарастания льда.

Толщина льда в конце апреля на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых была значительно меньше средних многолетних значений на 14—41 см.

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2023 г.	Среднее	Аномалия
Хатанга Оленёк	Хатанга	137	151	–14
	Тюмети	95	136	–41
	Усть-Оленёк	170	190	–20
Лена	Кюсюр	155	173	–18
	Хабарово	209	224	–15
	(Бык, протока)			
Яна	Юбилейная	133	150	–17

Высота снега на льду в конце апреля составила в устьевой части реки Лены (п. Хабарово) 5—10 см, на реке Оленёк 26—35 см, на реке Яне 36—50 см, на реке Хатанге и в устьевой части реки Лены (п. Кюсюр) 51—70 см.

Характеристика процесса вскрытия

На устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых появление воды на льду наблюдалось в третьей декаде мая.

Закраины на реке Оленёк (п. Тюмети) появились в конце третьей декады мая, в п. Усть-Оленёк — в начале первой декады июня. Закраины на реке Лене (п. Хабарово) отмечались 1 июня. На реках Лене (п. Кюсюр) и Яне закраины не наблюдались.

Подвижки на устьевых участках рек бассейна моря Лаптевых отмечались в п. Хатанга и Кюсюр в третьей декаде мая, на реке Оленёк (п. Тюмети) 1 июня. На реках Оленёк (п. Тюмети) и Лене (п. Кюсюр) процесс вскрытия сопровождался образованием заторов.

Весенний ледоход на реках Хатанге и Оленёк (п. Усть-Оленёк) начался на 6—7 дней раньше средних многолетних сроков, на реках Оленёк (п. Тюмети) и Лене (п. Хабарово) — в сроки, соответствующие средним многолетним датам, а на реках Яне и Лене (п. Кюсюр) — позже средней многолетней даты на 1—4 дня. Очищение на реках Хатанге, Оленёк и Лене произошло раньше средних многолетних сроков на 4—9 дней, на реке Яне — в срок, близкий к средней многолетней дате. Продолжительность ледохода составила на реке Хатанге 5 дней, на реке Оленёк от 1 до 6 дней, на реке Лене от 0 до 3 дней, на реке Яне 5 дней.

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

Таблица 2.5.15

Сроки вскрытия, очищения и их аномалии устьевых участках рек

Река	Пункт	Дата начала ледохода			Дата очищения от льда		
		2023 г.	Средняя	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут
Хатанга Оленёк	Хатанга	04.06	11.06	–7	09.06	16.06	–7
	Тюмети	01.06	01.06	0	07.06	11.06	–4
	Усть-Оленёк	09.06	15.06	–6	10.06	19.06	–9
Лена	Кюсюр	01.06	31.05	+1	04.06	08.06	–4
	Хабарово	06.06	06.06	0	06.06	12.06	–6
	(Бык, протока)						
Яна	Юбилейная	01.06	28.05	+4	06.06	05.06	+1

Характеристика процесса замерзания

Появление заберегов на устьевых участках рек моря Лаптевых началось позже средних многолетних сроков на 5—7 дней.

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

Таблица 2.5.16

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

Река, пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавающего льда			Дата ледостава		
	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут
Хатанга, Хатанга	02.10	—	—	—	02.10	—	13.10	04.10	+9
Оленёк, Тюмети	04.10	29.09	+5	11.10	01.10	+10	17.10	10.10	+7
Оленёк, Усть-Оленёк	нб	30.09	—	04.10	02.10	+2	10.10	06.10	+4
Лена, Кюсюр	15.10	08.10	+7	13.10	09.10	+4	28.10	23.10	+5
Лена, Хабарово (Бык. протока)	18.10	12.10	+6	17.10	12.10	+5	23.10	19.10	+4
Яна, Юбилейная	05.10	28.09	+7	07.10	01.10	+6	13.10	06.10	+7

Устойчивое появление плавающего льда и ледостав были отмечены позже средних многолетних сроков на 2—10 дней.

Продолжительность периода с плавающим льдом составила 6—15 дней.

Нарастание льда в осенне-зимний период

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

Таблица 2.5.17

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

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H	H	ΔH	H	ΔH
Хатанга	Хатанга	11	47	+36	65*	—
Оленёк	Тюмети	22	49	+27	57	+8
	Усть-Оленёк	17	53	+36	82	+29
Лена	Кюсюр	—	45	+45	84	+39
	Хабарово (Бык. протока)	9	79	+70	102	+23
Яна	Юбилейная	11	36	+25	52	+16

*Данные за 20 декабря 2023 г.

Таблица 2.5.18

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2023 г.	Средняя	Аномалия
Хатанга	Хатанга	65*	—	—
Оленёк	Тюмети	57	80	–23
	Усть-Оленёк	82	102	–20
Лена	Кюсюр	84	88	–4
	Хабарово (Бык, протока)	102	118	–16
Яна	Юбилейная	52	70	–18

*Данные за 20 декабря 2023 г.

В осенне-зимний период наибольшее нарастание льда с момента начала ледообразования на устьевых участках рек моря Лаптевых наблюдалось в ноябре.

На устьевых участках рек моря Лаптевых толщина льда в конце декабря была меньше средних многолетних значений на 4—23 см.

Высота снега на льду в рассматриваемых пунктах на конец декабря составила от 5—10 до 26—35 см.

Ледово-гидрологические условия на устьевых участках крупных рек бассейна Восточно-Сибирского моря**Нарастание льда в зимне-весенний период**

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

Таблица 2.5.19

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

Река	Пункт	31 января		28 февраля		31 марта		30 апреля	
		H	ΔH	H	ΔH	H	ΔH	H	ΔH
Индиگیرка	Чокурдах	102	+31	118	+16	130	+12	134	+4
Колыма	Колымское	88	–	111	+23	125	+14	117	–8
	Черский	80	+27	83	+3	90	+7	96	+6

Максимальное нарастание льда по толщине на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря по имеющимся данным наблюдалось в январе.

В табл. 2.5.20 приведены толщина льда и ее аномалии в период, близкий к периоду максимального нарастания льда — концу апреля.

Таблица 2.5.20

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

Река	Пункт	Толщина льда, см		
		2023 г.	Среднее	Аномалия
Индиگیرка	Чокурдах	134	163	–29
Колыма	Колымское	117	140	–23
	Черский	96	128	–32

Толщина льда в конце апреля на устьевых участках рек Индигирки и Колымы была меньше средних многолетних значений на 23—32 см. Высота снега на реках Индигирке и Колыме (п. Черский) составила 11—15 см, на реке Колыме (п. Колымское) — 21—25 см.

Характеристика процесса вскрытия

Вода на льду на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря была отмечена в первой и второй декадах мая (кроме п. Колымское, где вода на льду не отмечена). Появление закраин наблюдалось в третьей декаде мая. Подвижки на реке Колыме наблюдались в третьей декаде мая, на реке Индигирке — в первой декаде июня. На устьевых участках рек Колымы и Индигирки заторов не наблюдалось.

Весенний ледоход на реке Индигирке начался в срок, соответствующий средним многолетним срокам, на реке Колыме — раньше средних многолетних сроков на 3—5 дней.

Очищение на реках Индигирке и Колыме произошло раньше средних многолетних сроков на 2—6 дней. Продолжительность ледохода составила 1—5 дней.

В табл. 2.5.21 приведены сроки вскрытия устьевых участков рек Индигирки 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		
		2023 г.	Средняя	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут
Индигирка	Чокурдах	06.06	06.06	0	07.06	09.06	-2
Колыма	Колымское	26.05	29.05	-3	31.05	03.06	-5
	Черский	27.05	01.06	-5	31.05	06.06	-6

Характеристика процесса замерзания

Появление заберегов на устьевых участках рек бассейна Восточно-Сибирского моря наблюдалось на реке Индигирке позже средних многолетних дат на 7 дней, на реке Колыме (п. Колымское) — позже на 10 дней. На реке Колыме (п. Черский) появление заберегов наблюдалось в срок, близкий к среднему многолетнему.

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

Появление плавучего льда на устьевом участке реки Индигирки отмечалось позже средней многолетней даты на 3 дня, на реке Колыме (п. Колымское) — позже на 8 дней, на устьевом участке реки Колымы (п. Черский) — раньше на 3 дня.

Продолжительность периода с плавучим льдом составила 3—11 дней.

Таблица 2.5.22

Сроки наступления ледовых явлений и их аномалии на устьевых участках рек

Река	Пункт	Дата появления заберегов			Дата устойчивого появления плавучего льда			Дата ледостава		
		2023 г.	Средняя	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя*	Аномалия, сут	2023 г.	Средняя	Аномалия, сут
Индигирка	Чокурдах	10.10	03.10	+7	09.10	06.10	+3	12.10	09.10	+3
Колыма	Колымское	16.10	06.10	+10	16.10	08.10	+8	20.10	12.10	+8
	Черский	05.10	06.10	-1	05.10	08.10	-3	16.10	12.10	+4

Нарастание льда в осенне-зимний период

В табл. 2.5.23 приведены данные о нарастании льда по толщине на устьевых участках рек Индигирки и Колымы за октябрь — 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 , см) и его нарастание (ΔH , см) от месяца к месяцу в осенне-зимний период на устьевых участках рек

Река	Пункт	31 октября	30 ноября		31 декабря	
		H	H	ΔH	H	ΔH
Индигирка	Чокурдах	15	41	+26	68	+27
Колыма	Колымское	12	29	+17	59	+30
	Черский	14	40	+26	81	+41

Таблица 2.5.24

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

Река	Пункт	Толщина льда (см) на конец декабря на конец декабря		
		2023 г.	Среднее	Аномалия
Индигирка	Чокурдах	68	87	–19
Колыма	Колымское	59	74	–15
	Черский	81	61	+20

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

В конце декабря толщина льда на устьевых участках рек Индигирки и Колымы (п. Колымское) составляла на 15—19 см меньше средних многолетних значений, а на реке Колыме (п. Черский) превышала средние многолетние значения на 20 см.

Высота снега на льду на конец декабря на устьевых участках рек Колымы и Индигирки составила 5—20 см.

3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И ЕГО МОРЕЙ

3.1. ТЕРМОХАЛИННЫЕ УСЛОВИЯ

Анализ термохалинного состояния вод Северного Ледовитого океана (СЛО) в 2023 г. выполнен на основании данных автономных дрейфующих комплексов ИТР (Ice-Tethered Profiler), оснащенных профилографами, обеспечивающими непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760-метрового слоя вод (табл. 3.1.1, рис. 3.1.1).

Таблица 3.1.1

**Сведения о наблюдениях за температурой и соленостью,
выполненных на акватории СЛО в 2023 г.
и загруженных в БДТХ отдела океанологии ААНИИ**

№ п/п	Экспедиция	Дата первой и последней станции		Число станций
1	ИТР 126	01.01.2023	13.07.2023	383
2	ИТР 130	01.01.2023	11.07.2023	755
3	ИТР 135	04.09.2023	30.09.2023	108
4	ИТР 136	01.01.2023	27.09.2023	1042
5	ИТР 137	01.01.2023	30.09.2023	1081
6	ИТР 138	25.09.2023	30.09.2023	12
7	ИТР 139	26.09.2023	30.09.2023	10
8	ИТР 140	29.08.2023	31.08.2023	11
9	ИТР 141	19.09.2023	30.09.2023	43

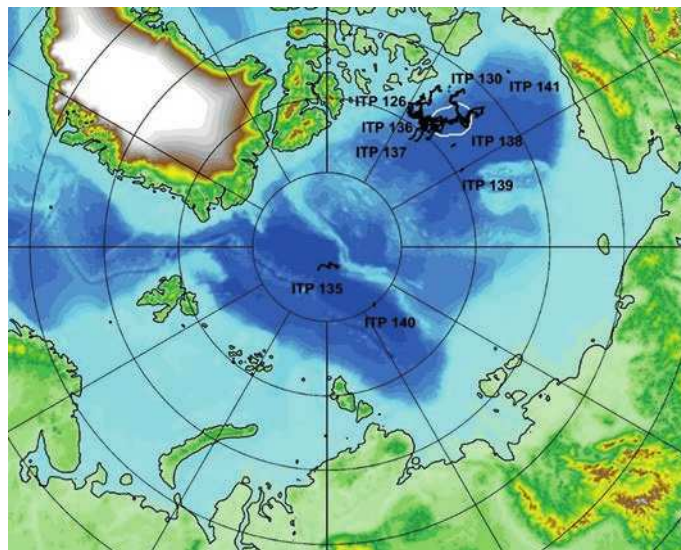


Рис. 3.1.1. Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО в 2023 г. и занесенных в БД термохалинных характеристик отдела океанологии ААНИИ.

Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО в 2023 г. был осуществлен анализ вертикального распределения температуры и солёности по данным предварительно выделенной группы океанографических станций. В качестве такой группы использовались ИТР 136, 130 и 138 в Канадской глубоководной котловине (рис. 3.1.1). По данным выделенной группы станций рассчитывались основные статистические характеристики (среднее, стандартное отклонение, минимальное и максимальное значения) вертикальных профилей температуры и солёности. При дальнейшем анализе полученные статистические характеристики сравнивались с климатическими средними и их стандартными отклонениями, рассчитанными за климатический период с 1991 по 2020 г. (принятый за климатическую норму), для этого же района. Область поиска исторических данных (рис. 3.1.1, белый контур) была на 50—100 км шире области расположения океанографических станций, используемых для анализа в 2023 г.

Амеразийский суббассейн

На рис. 3.1.2—3.1.4 представлено вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине по данным наблюдений в 2023 г.

Поверхностный слой в центральной части Канадской глубоководной котловины по данным ИТР буев в 2023 г. был незначительно распреснен по сравнению с климатической нормой. Значения отрицательной аномалии солёности изменялись от $-0,24$ до $-0,6$ ‰ и соответствовали аномалиям, наблюдавшимся в 2022 г. Температура поверхностного слоя в первом и втором кварталах 2023 г. была в пределах климатической нормы (около $-1,5$ °C), а в третьем квартале 2023 г. — на $0,1$ °C ниже по сравнению с климатической нормой ($-1,38$ °C).

Под верхним перемешанным слоем (на глубине более 35 м), расположен слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), который является характерной особенностью Амеразийского суббассейна СЛО. Для этого слоя характерно наличие промежуточного максимума температуры воды в слое с солёностью от 31 до 33 ‰. Максимальное значение температуры слоя ЛТВ в первом квартале 2023 г. составило $0,36$ °C (превысило климатическую норму на $1,24$ °C), во втором квартале $0,21$ °C (превысило климатическую норму на $1,1$ °C), а в третьем квартале $-0,23$ °C (превысило климатическую норму на $0,57$ °C). Для сравнения: аномалия температуры слоя ЛТВ в 2022 г. составила $0,6—0,7$ °C. Кроме того, было отмечено незначительное увеличение глубины залегания нижней границы ЛТВ, которая составила 160 м (140 м согласно климатическим данным). На глубине 160—180 м в Канадской глубоководной котловине залегают так называемые зимние тихоокеанские воды, затекающие в холодный период через Берингов пролив и смешивающиеся с водами Чукотского моря. Эти воды в Арктическом бассейне характеризуются низкой температурой и солёностью, равной 33,1 ‰, в ядре данной прослойки.

Характерной особенностью последних лет является заглубление ядра зимних тихоокеанских вод. По данным за 2023 г., ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 180—190 м, в то время как глубина его залегания по средним климатическим данным составляет 150 м. На глубине более 180 м в Канадской глубоководной котловине наблюдается постепенное повышение температуры воды, обусловленное теплоотдачей атлантической водной массы (АВ). Верхняя граница слоя данной прослойки (0 °C) в 2023 г. располагалась на глубине 280—300 м. Максимальное значение температуры

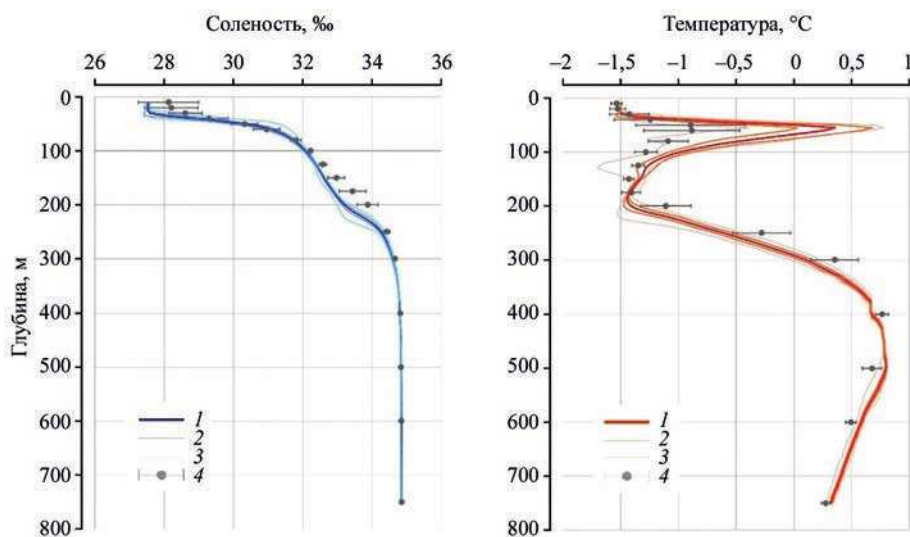


Рис. 3.1.2. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в январе — марте 2023 г. по результатам измерений профилографа ИТР 136.

1 — профиль средних значений; 2 — область стандартного отклонения; 3 — минимальные и максимальные значения наблюдаемых характеристик; 4 — средние климатические значения и их стандартные отклонения, рассчитанные по историческим данным базы термохалинных характеристик СЛЮ отдела океанологии ААНИИ за апрель — июнь 1991—2020 гг.

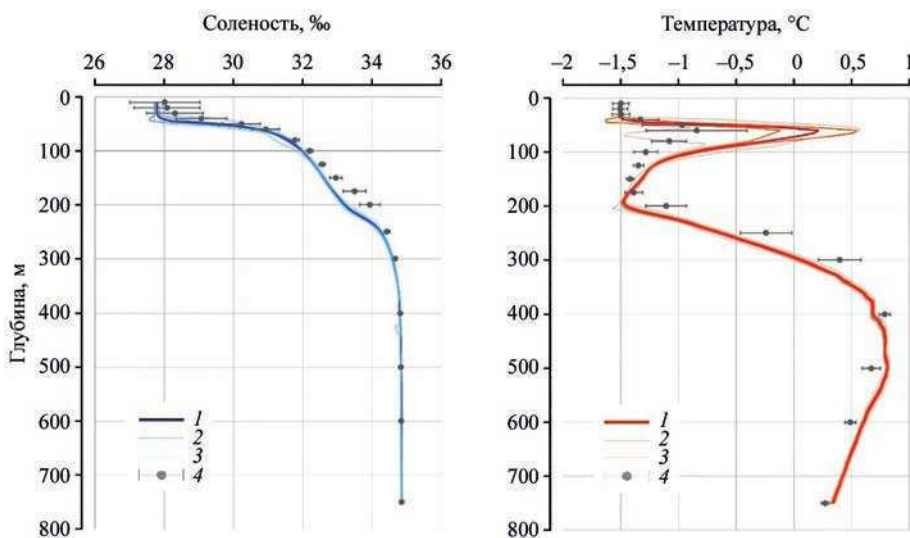


Рис. 3.1.3. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в апреле — мае 2023 г. по результатам измерений профилографа ИТР 130.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

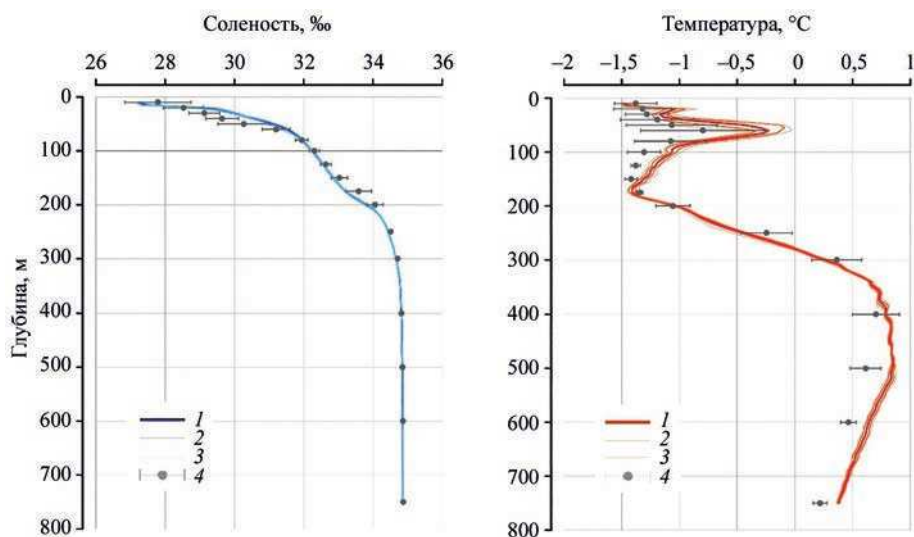


Рис. 3.1.4. Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в сентябре 2023 г. по результатам измерений профилографа ИТР 138.

Условные обозначения см. рис. 3.1.2.

воды в ядре АВ в третьем квартале 2023 г. составило $0,85^{\circ}\text{C}$ (глубина 495 м), что всего на $0,15^{\circ}\text{C}$ превышает климатическую норму. При этом в первом и втором кварталах максимальные значения температуры в ядре АВ соответствовали климатической норме ($0,8^{\circ}\text{C}$), что свидетельствовало об отсутствии как положительного, так и отрицательного тренда температуры АВ в Амеразийском суббассейне СЛО. Для сравнения: в 2022 г. максимальное значение температуры воды в ядре АВ составило $0,8^{\circ}\text{C}$.

3.2. УРОВЕНЬ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

В 2023 г. наблюдения за уровнем моря проводились в Карском море на семи станциях, три из которых расположены в юго-западной части моря: Амдерма, Усть-Кара, им. М.В. Попова (о. Белый), и четыре — в северо-восточной части моря: мыс Стерлегова, ГМО им. Е.К. Фёдорова (мыс Челюскина), остров Диксон и Сопочная Карга. В море Лаптевых наблюдения проводились на четырех станциях: Анабар, мыс Кигилях, пролив Санникова, о. Котельный. Чукотское и Восточно-Сибирское моря наблюдениями за уровнем моря освещены не были.

На станции Амдерма наблюдения за уровнем моря проводились в течение всего года, кроме января, на станции Усть-Кара наблюдений не было в октябре и ноябре, на станции мыс Стерлегова наблюдения проводились с января по август, на станции ГМО им. Е.К. Фёдорова (мыс Челюскина) — с января по июнь, а также в декабре. На станции им. М.В. Попова (о. Белый) наблюдения проводились только в августе и сентябре.

Относительно полноценные наблюдения в течение года были выполнены только на двух станциях в Карском море (Сопочная Карга и о. Диксон) и четырех станциях в море Лаптевых.

На протяжении 2023 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 $+14$ см на станции Амдерма,

+8 см на станции Усть-Кара, +11 см на станции Сопочная Карга, +22 см на станции о. Диксон, +16 см на станции мыс Стерлегова.

В море Лаптевых на станциях, расположенных на Новосибирских островах, аномалии среднегодового уровня составили +6 см на станции м. Кигилях, +16 см на станции пр. Санникова и +30 см на станции о. Котельный.

На станции Анабар (юго-запад моря Лаптевых) среднегодовая аномалия уровня составила +35 см.

Сезонные колебания уровня арктических морей

Как правило, сезонные колебания уровня арктических морей отличаются хорошо выраженным годовым ходом, характеризующимся минимумом весной (март — май) и максимумом осенью (сентябрь — ноябрь). В 2023 г. сезонные колебания уровня в целом были близки к типичным, однако в некоторых случаях отмечались существенные отклонения.

В юго-западной части Карского моря в 2023 г. в отличие от прошлых лет постоянные измерения проводились только на двух станциях. Причем отсутствуют какие-либо данные за январь месяц, а с сентября по ноябрь измерения проводились только на станции Амдерма. На станции Амдерма (рис. 3.2.1) с февраля по апрель происхо-

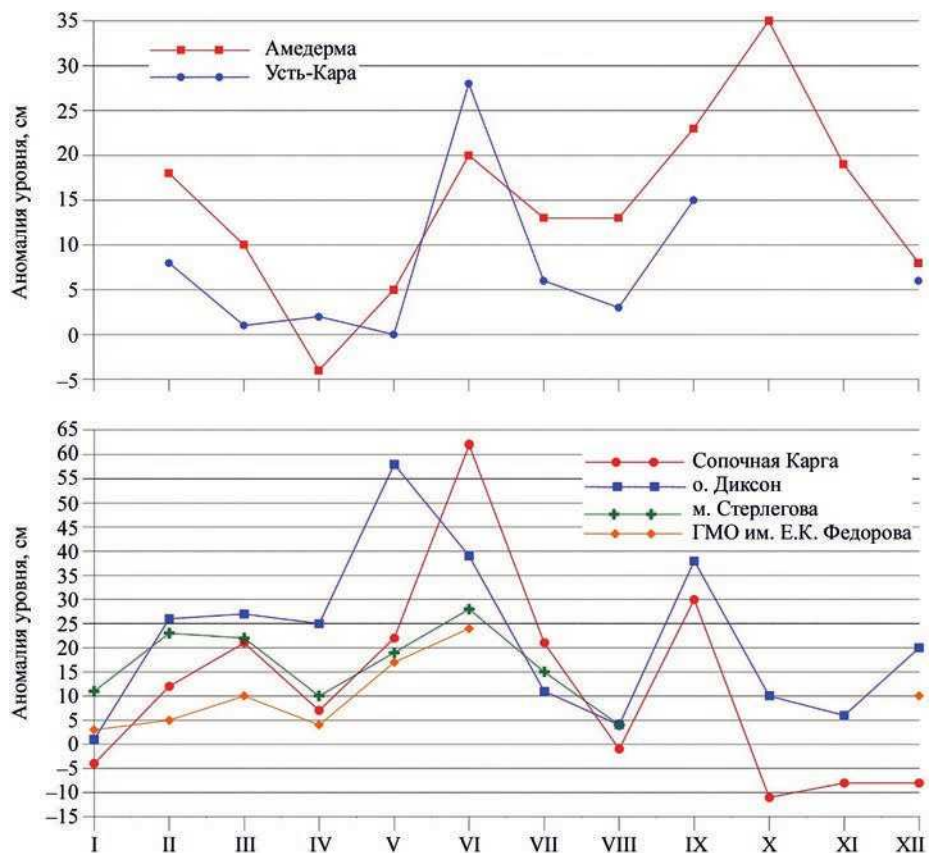


Рис. 3.2.1. Изменения среднемесячного значения уровня на станциях Карского моря в 2023 г.

дило понижение уровня моря, причем в апреле он оказался ниже средней многолетней отметки (–4 см). Затем, в мае и июне, наблюдалось повышение уровня моря до значений +20 см. В июле и августе среднемесячное значение уровня моря несколько понизилось, но затем, в сентябре и октябре, довольно сильно повысилось, составив в октябре +35 см. К концу года уровень моря на станции Амдерма понизился до +8 см. На станции Усть-Кара до мая уровень моря находился чуть выше средней многолетней отметки, но в июне произошло его резкое повышение — до +28 см. Как и на станции Амдерма, в июле и августе уровень моря понизился. К концу года уровень моря на станции Усть-Кара находился на отметке +6 см.

На востоке Карского моря по данным станций о. Диксон, Сопочная Карга, ГМО им. Е.К. Фёдорова и мыс Стерлегова можно отметить два явных максимума в сезонном ходе уровня моря. На станции о. Диксон первый максимум наблюдался в мае, когда уровень моря здесь поднялся до отметки +58 см. На других станциях максимум отмечался в июне, когда особенно сильный подъем уровня моря произошел на станции Сопочная Карга (до +62 см), а на станции м. Стерлегова — до +28 см. Второй максимум можно проследить в сентябре по данным станций о. Диксон и Сопочная Карга, когда уровень там повысился до отметки +38 и +30 см соответственно.

В целом можно отметить тот факт, что для станций юго-западной части Карского моря осенний максимум уровня был выше, чем летний, тогда как на станциях его восточной части летний максимум был выше осеннего. Это связано с местоположением станций, а также с тем, каким образом на уровень моря здесь влияют такие факторы, как сгонно-нагонные процессы и речной сток.

В юго-западной части моря Лаптевых, на станции Анабар (рис. 3.2.2), в течение всей первой половины года уровень моря держался в районе отметки +40 см, что является нехарактерным для типичного сезонного хода уровня. Затем, в июле, произошло понижение уровня моря до +14 см, а к октябрю он снова повысился до +42 см.

На станции о. Котельный на Новосибирских островах колебания уровня в течение всего года происходили на повышенном фоне, причем в первой половине года отметка уровня была выше, чем во второй. Стоит отметить довольно высокий уровень моря в марте (+47 см) и в мае (+58 см). В отличие от станции о. Котельный

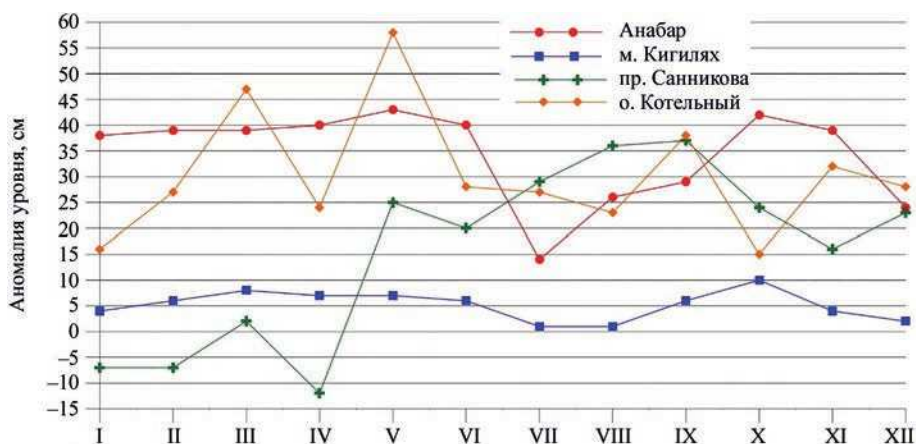


Рис. 3.2.2. Изменения среднемесячного значения уровня на станциях моря Лаптевых в 2023 г.

на станции пр. Санникова до апреля значения уровня моря были преимущественно ниже средних многолетних. В апреле уровень моря понизился до значения -12 см. Начиная с мая и вплоть до сентября происходило постепенное повышение уровня. В сентябре среднемесячное значение уровня моря составило $+37$ см. Изменения уровня моря на станции Кигилях не отличались сильными колебаниями, и в течение года он находился в пределах от $+1$ до $+10$ см.

Сгонно-нагонные колебания уровня

Ранее наиболее значительные анемобарические изменения уровня отмечались преимущественно в сентябре — октябре, реже в августе и ноябре и весьма редко в остальные месяцы года. В 2014 г. значительные сгонно-нагонные колебания наблюдались преимущественно в августе — сентябре. В 2015 г. наиболее существенные сгонно-нагонные колебания отмечались в основном в ноябре — январе или июле — августе, а в 2016 и 2017 гг. в январе — апреле. В 2018 г. особо стоит отметить значительные сгонно-нагонные колебания в начале и в конце года. В 2019—2022 гг. на акватории Карского моря максимумы сгонно-нагонных колебаний наблюдались в различные периоды времени в зависимости от района, где размещена та или иная станция.

В 2023 г. в юго-западной части Карского моря, на станции Амдерма, максимальные сгоны наблюдались в апреле и мае, когда уровень моря достиг аномалии -55 и -54 см соответственно. При этом на станции Усть-Кара минимальные отметки были зафиксированы в январе и апреле (-65 и -60 см). Максимальные нагоны в юго-западной части Карского моря отмечались 8 февраля на станции Амдерма ($+89$ см) и 20 октября на станции Усть-Кара ($+96$ см). В целом стоит отметить, что в сентябре и октябре на этих станциях происходили интенсивные нагонные процессы.

Для востока Карского моря оптимальную оценку сгонно-нагонных процессов удалось провести только по данным станций о. Диксон и Сопочная Карга. На станции Сопочная Карга максимальный сгон наблюдался 14 марта, когда отметка уровня моря достигла значения -76 см, а на станции о. Диксон — 16 октября, когда уровень моря понизился до -68 см. Большое количество довольно высоких нагонов наблюдалось на станции Сопочная Карга: $+118$ см — 13 июня, $+115$ см — 12 июля, $+119$ см — 12 сентября и максимальный в 2023 г. нагон $+121$ см — 4 октября. На станции о. Диксон такое значительное повышение уровня (выше 1 метра) наблюдалось только 12 сентября, когда уровень моря достиг отметки $+112$ см. В июне и июле уровень моря здесь повышался только до $+88$ и $+84$ см соответственно, а в октябре — до $+87$ см.

В западной части моря Лаптевых по данным станции Анабар максимальный сгон наблюдался 26 июня, когда уровень моря понизился до отметки -56 см. Кроме того, довольно значительные сгоны наблюдались в июле, августе и сентябре. Максимальный нагон был отмечен 20 августа, когда уровень моря повысился до $+134$ см. Значительные нагоны отмечались также в сентябре и октябре ($+113$ и $+110$ см).

На станциях, расположенных на Новосибирских островах, самое заметное понижение уровня моря было зафиксировано 18 октября на станции о. Котельный — до -42 см. На станции мыс Кигилях максимальный сгон наблюдался 19 августа (-21 см), а на станции пр. Санникова — 29 января (-39 см). На станциях пр. Санникова и о. Котельный максимальные нагоны наблюдались 19—20 мая, когда уровень моря достигал отметки $+71$ и $+78$ см соответственно. На станции мыс Кигилях максимальный нагон ($+29$ см) наблюдался в сентябре и октябре.

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 являлся отрицательным (табл. 3.2.1). Его значение для разных станций составляло от $-0,193$ до $0,061$ см/год при среднем значении $0,013$ см/год.

После 1985 г. характер колебаний уровня на станциях арктических морей существенно образом изменился (рис. 3.2.3). В 1985 г. началось резкое повышение уровня моря, и в конце 1980-х — начале 1990-х годов его колебания происходили на повышенном фоне. Затем наблюдалось понижение уровня моря, и во многих районах арктических морей он даже вернулся к средним значениям. Однако в конце 1990-х — начале 2000-х годов уровень моря вновь стал повышаться и в 2005—2009 гг., достигнув наблюдавшихся ранее максимумов, даже превысил их. В 2010 г. уровень моря снова понизился до отметок, близких к средним значениям, после чего вновь началось его повышение, носившее в период 2011—2021 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., после чего в 2017 г. уровень незначительно понизился, оставаясь на повышенном фоне. В 2018 и 2019 гг. уровень немного повысился по сравнению с 2017 г. В восточной части Карского моря тенденции к повышению уровня были выражены слабо и носили, скорее, характер слабых колебаний на повышенном фоне. В районе Новосибирских островов после повышения 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 г. это повышение продолжилось. В 2018 г. среднегодовой уровень достиг максимального за последние годы значения, а в 2019—2022 гг. вновь несколько понизился.

Таблица 3.2.1

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

Район	Станция	Период					
		1950—2023		1950—1985		1985—2023	
		y	R^2	y	R^2	y	R^2
Юго-запад Карского моря	Амдерма	0,414	0,694	0,013	0,001	0,518	0,560
	Усть-Кара	0,242	0,453	$-0,041$	0,017	0,369	0,320
	Диксон	0,174	0,198	$-0,017$	0,001	0,256	0,099
	Стерлегова	0,156	0,151	0,061	0,010	0,179	0,048
Новосибирские острова	Сопочная Карга	0,233	0,350	$-0,160$	0,051	0,256	0,204
	Санникова	0,204	0,291	$-0,076$	0,018	0,325	0,221
	Кигилях	0,117	0,138	$-0,193$	0,112	0,232	0,155
Среднее		0,220		0,013		0,305	

Примечание. y — величина линейного тренда, R^2 — коэффициент детерминации линейного тренда

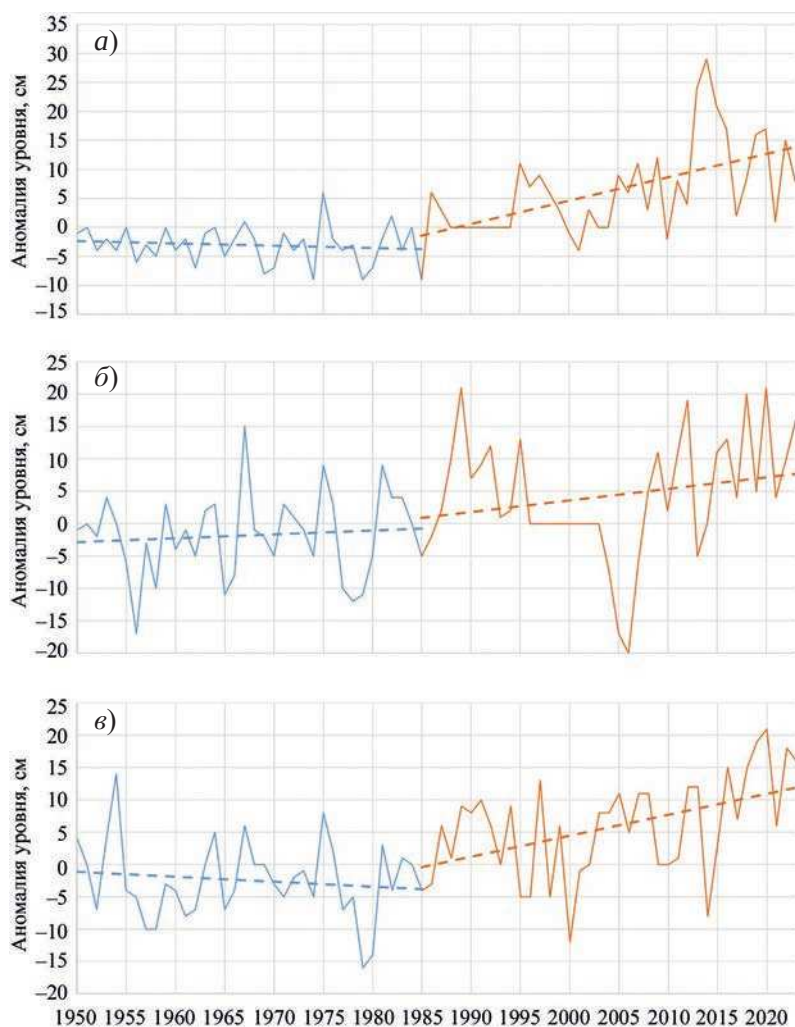


Рис. 3.2.3. Аномалия среднегодового уровня моря.

а — юго-западная часть Карского моря, станция Усть-Кара; *б* — восточная часть Карского моря, станция мыс Стерлегова; *в* — район Новосибирских островов, станция пролив Санникова.

Значение тренда за период 1985—2023 гг. для различных станций, расположенных на побережье арктических морей, составило от 0,179 до 0,518 см/год при среднем значении тренда 0,305 см/год. При этом наиболее значительный тренд был зафиксирован, как и ранее, в юго-западной части Карского моря, особенно на станции Амдерма.

Стоит отметить, что на всех станциях, кроме станции мыс Кигилях, величина тренда увеличилась, несмотря на то что среднегодовое значение уровня моря в последние три-четыре года несколько ниже, чем в период с 2017 по 2019 г. В целом среднегодовой уровень моря на всех станциях арктических морей остается выше среднего многолетнего и общий положительный тренд сохраняется.

3.3. ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ НА АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Ввиду отсутствия продолжительных инструментальных наблюдений за волнением на акватории арктических морей России обзор ветрового волнения основывается на результатах модельных расчетов и прогнозов. Мониторинг ветро-волновых условий осуществляется посредством ежедневного использования авторской спектрально-параметрической модели AARI-PD2, разработанной в ЛО ГОИН и модифицированной в ААНИИ. Район российской Арктики аппроксимируется двумя большими расчетными областями с шагом $1,0^\circ$ по долготе и $0,5^\circ$ по широте. Первая расчетная область включает в себя Баренцево и Карское моря (западный сектор), 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 Брекнелл (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 максимума значительной высоты волн (significant wave height, H_s) 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 2023 г. преобладало волнение с высотой волн от 2 до 3 м (28 % случаев). Число случаев, когда высота максимумов значительных волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составило в 2023 г. 15 % (2007 г. — 30 %, 2008 г. — 27 %, 2009 г. — 24 %, 2010 г. — 23 %, 2011 г. — 16 %, 2012 г. — 13 %, 2013 г. — 10 %, 2014 г. — 8 %, 2015 г. — 15 %, 2016 г. — 11 %, 2017 г. — 13 %, 2018 г. — 13 %, 2019 г. — 9 %, 2020 г. — 17 %, 2021 г. — 11 %, 2022 г. — 12 %).

Самым штормовым месяцем в Баренцевом море в 2023 г. стал январь (15 штормовых дней с высотой волн более 5 м). Максимальная расчетная высота волн в январе 2023 г. в Баренцевом море превысила 11,0 м (23 января на 18 ч и 24 января на 00, 06 и 12 ч UTC). Продолжительность шторма составила 5 дней (с 22 по 26 января). Максимальное значение высоты волны в 2023 г. ниже по сравнению с 2022 г. (в марте 2022 г. превышало 12,0 м).

Следующим по штормовой активности стал февраль (высота волн более 9,0 м рассчитана в Баренцевом море 8 февраля на 12 ч UTC). Продолжительность шторма составила 8 дней (с 6 по 13 февраля).

На рис. 3.3.1 в качестве примера приведены поля ветра и высоты волн H_s на акватории Баренцева моря на 12 ч UTC 24 января 2023 г.

Таблица 3.3.1

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs)
в Баренцевом море в 2023 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	10—11	11—12
Январь	—	—	2	5	9	6	3	4	—	—	—	2
Февраль	—	1	4	3	6	5	4	3	1	1	—	—
Март	—	—	15	5	8	3	—	—	—	—	—	—
Апрель	—	3	6	15	4	2	—	—	—	—	—	—
Май	—	2	7	13	6	1	2	—	—	—	—	—
Июнь	4	7	11	2	6	—	—	—	—	—	—	—
Июль	2	14	11	2	2	—	—	—	—	—	—	—
Август	—	12	14	3	2	—	—	—	—	—	—	—
Сентябрь	—	4	10	9	6	1	—	—	—	—	—	—
Октябрь	—	3	4	10	7	3	2	1	1	—	—	—
Ноябрь	—	3	13	9	2	1	1	1	—	—	—	—
Декабрь	—	—	7	12	6	5	1	—	—	—	—	—
Год	6	49	104	88	64	27	13	9	2	1	—	2

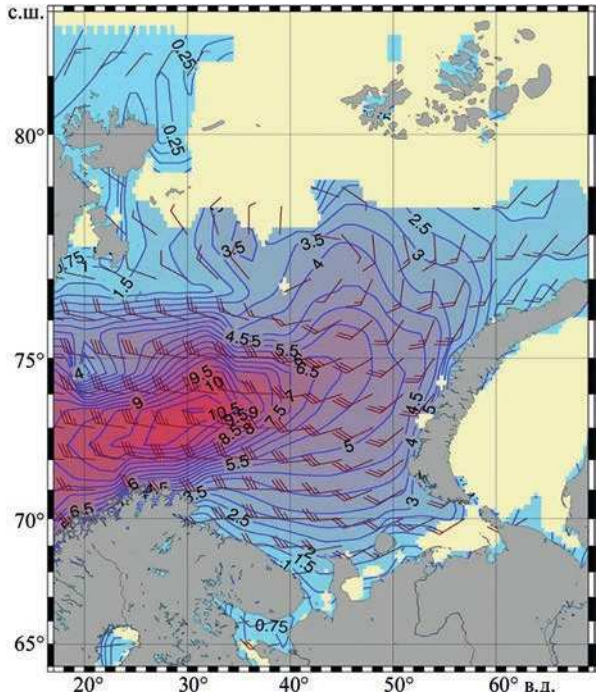


Рис. 3.3.1. Поле ветра и высоты волн (Hs, м) для акватории Баренцева моря на 12 ч UTC 24 января 2023 г.

Карское море

В Карском море в начале января 2023 г. пролив Карские Ворота и небольшая область, прилегающая к нему в южной части моря, оставались открытыми. Закрылось Карское море в первой декаде января. Максимальная расчетная высота волн не превышала 2,5 м. В третьей декаде мая Карское море стало открываться ото льда вдоль восточного побережья архипелага Новая Земля.

В табл. 3.3.2 приведены сведения о распределении высоты волн H_s на чистой воде для акватории Карского моря в 2023 г.

Как видно из табл. 3.3.2, в Карском море в 2023 г. в большинстве случаев развивалось волнение с высотой волн в диапазоне от 1 до 2 м. Наиболее штормовыми месяцами стали сентябрь и октябрь. Максимальная высота волн более 4,5 м была рассчитана на 06 и 12 ч UTC 10 сентября, на 00 ч 12 сентября и на 06, 12 и 18 ч 3 октября. В середине сентября Карское море полностью очистилось ото льда. В это время граница области чистой воды в Карском море доходила до параллели 80—82° с.ш. Во второй половине октября Карское море стало быстро закрываться. К концу октября уже закрылась вся восточная часть моря, к концу ноября открытой оставалась лишь южная часть моря в широтной зоне 70—75° с.ш., а в конце декабря море закрылось полностью.

На рис. 3.3.2 в качестве примера приведены поля ветра и высоты волн H_s на акватории Карского моря на 12 ч UTC 10 сентября 2023 г.

Таблица 3.3.2

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s) в Карском море в 2023 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5
Январь (до 6 января)	2	2	2	—	—
Май (с 20 мая)	5	6	1	—	—
Июнь	6	20	4	—	—
Июль	4	20	7	—	—
Август	2	17	10	2	—
Сентябрь	—	11	14	2	3
Октябрь	1	7	12	8	3
Ноябрь	1	12	15	2	—
Декабрь (до 25 декабря)	9	8	8	—	—
Итого	30	103	73	14	6

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, когда площадь свободных ото льда акваторий позволяла выполнить оценки основных характеристик волнения. В таблицах учтены случаи ветрового волнения на акватории морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского на открытой воде до кромки льда.

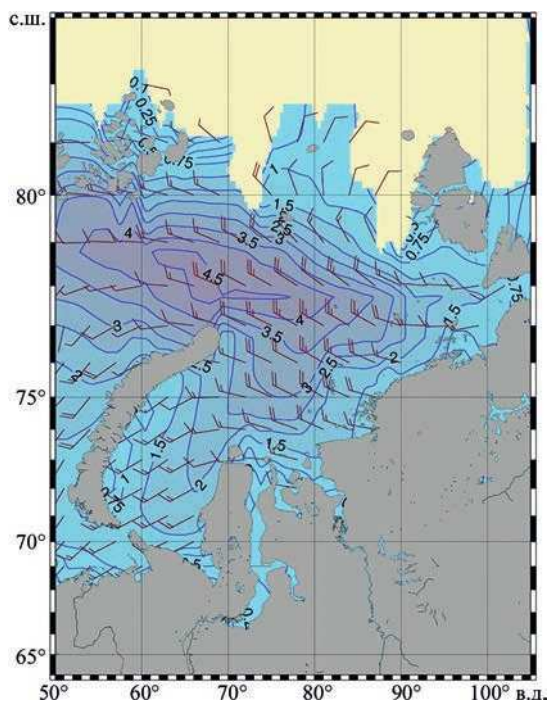


Рис. 3.3.2. Поля ветра и высоты волн (H_s , м) на акватории Карского моря на 12 ч UTC 10 сентября 2023 г.

Из таблиц видно, что в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском в 2023 г. преобладало волнение с высотой волн от 1 до 2 м, а в Чукотском море — с высотой волн от 1 до 3 м.

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

Наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых в 2023 г. составила более 5,5 м (на 06 и 12 ч UTC 27 сентября), что на 0,5 м превышает значение за 2022 г.

Наибольшая расчетная высота волн в Восточно-Сибирском море составила более 7,5 м (23 октября на 12 UTC), что на 2,5 м превышает значение за 2022 г.

Таблица 3.3.3

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (H_s) в море Лаптевых в 2023 г.

Месяц	Высота волн, м					
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6
Июнь (с 20 июня)	3	7	1	—	—	—
Июль	11	16	4	—	—	—
Август	8	16	6	1	—	—
Сентябрь	2	12	8	5	2	1
Октябрь (до 25 октября)	—	13	8	3	1	—
Итого	24	64	27	9	3	1

Таблица 3.3.4

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs)
в Восточно-Сибирском море в 2023 г.**

Месяц	Высота волн, м							
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8
Июнь (с 20 июня)	7	4	—	—	—	—	—	—
Июль	7	23	1	—	—	—	—	—
Август	4	17	9	1	—	—	—	—
Сентябрь	—	9	10	6	5	—	—	—
Октябрь	1	11	10	5	3	—	—	1
Итого	19	64	30	12	8	—	—	1

Таблица 3.3.5

**Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs)
в Чукотском море в 2023 г.**

Месяц	Высота волн, м						
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7
Июнь	15	13	1	1	—	—	—
Июль	8	23	—	—	—	—	—
Август	—	13	13	5	—	—	—
Сентябрь	1	11	13	5	—	—	—
Октябрь	—	3	19	7	—	2	—
Ноябрь	—	5	9	5	5	5	1
Декабрь (до 16 декабря)	1	2	11	2	—	—	—
Итого	25	70	66	25	5	7	1

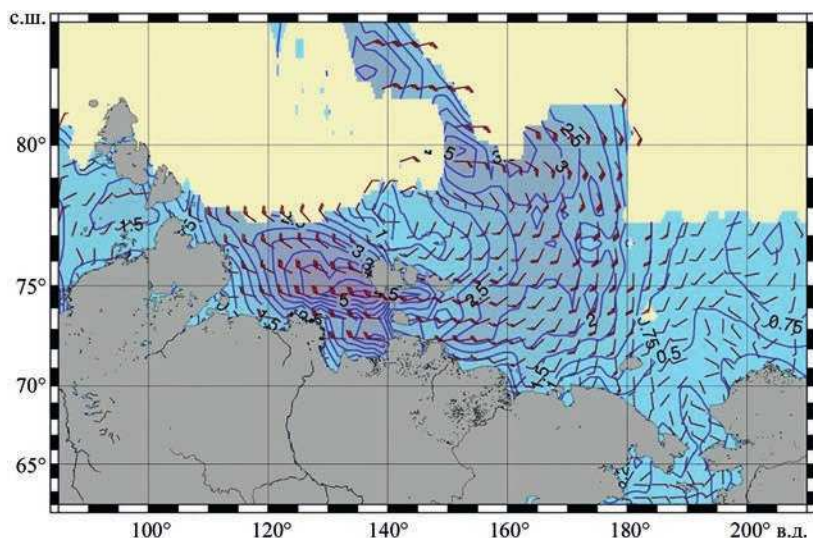


Рис. 3.3.3. Поле ветра и высот волн (Hs, м) в морях восточной Арктики
на 06 ч UTC 27 сентября 2023 г.

Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила более 6,0 м (10 ноября на 06, 12 и 18 ч UTC), что на 1 м меньше, чем в 2022 г.

Море Лаптевых стало открываться в конце июня (на месяц позже, чем в 2022 г.), а полностью освободилось ото льда в сентябре. Граница области чистой воды в море Лаптевых дошла в конце сентября до параллелей 76—77° с.ш. В середине октября море стало быстро закрываться и к концу октября полностью закрылось.

Восточно-Сибирское море стало открываться в конце июня — начале июля (немного раньше, чем в 2022 г.). Западная часть моря к началу августа была открыта не полностью, но в конце августа вся западная половина моря, до параллели 80° с.ш., освободилось ото льда. Полностью Восточно-Сибирское море открылось лишь к концу сентября, но оставались еще небольшие ледяные поля в восточной части моря. Граница области чистой воды в Восточно-Сибирском море доходила в конце сентября до параллелей 81—82° с.ш. В середине октября Восточно-Сибирское море, как и море Лаптевых, стало быстро закрываться и в конце октября — начале ноября полностью закрылось.

Чукотское море стало открываться в июне. К концу августа море было открыто до параллели 72° с.ш., а в конце сентября граница области чистой воды достигла параллели 77° с.ш. Закрылось море в середине декабря.

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 27 сентября 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На акватории всех российских арктических морей в 2023 г. преобладали положительные аномалии температуры воздуха. Наиболее высокие значения аномалии температуры воздуха наблюдались на акватории Карского и Баренцева морей, наиболее низкие — на акватории Восточно-Сибирского моря, моря Лаптевых и Чукотского моря.

Отмеченные тенденции изменения температуры воздуха в полярном районе и на акватории арктических морей в течение 2023 г. в целом согласуются с перестройкой в направленности крупномасштабных атмосферных процессов и сменой направления преобладающих воздушных потоков. Наибольшие значения положительных аномалий температуры воздуха в этом регионе отмечались в холодные месяцы года и были обусловлены влиянием адвекции теплых воздушных масс с акватории Северной Атлантики и Тихого океана.

В начале 2023 г. пролив Карские Ворота в Карском море и небольшая область, прилегающая к нему в южной части моря, оставались свободными ото льда. Полностью закрылось ледяным покровом Карское море в первой декаде января. В середине сентября Карское море полностью очистилось ото льда. В это время граница области чистой воды в Карском доходила до 80—82° с.ш. Во второй половине октября Карское море начало быстро закрываться, и в конце декабря море полностью покрылось ледяным покровом.

Море Лаптевых стало открываться в конце июня, а полностью освободилось ото льда в сентябре. Граница области чистой воды в море Лаптевых дошла в сентябре до 76—77° с.ш. В середине октября море стало быстро закрываться и к концу октября полностью закрылось.

Восточно-Сибирское море стало открываться в конце июня — начале июля. К началу августа западная часть моря была открыта не полностью, но в конце августа чистая вода была на всей западной половине моря до 80° с.ш. Полностью Восточно-Сибирское море освободилось ото льда лишь к концу сентября, но оставались еще небольшие ледяные поля в восточной части моря. Граница области чистой воды в Восточно-Сибирском море доходила в конце сентября до 81—82° с.ш. В середине октября Восточно-Сибирское море, как и море Лаптевых, стало быстро закрываться и в конце октября — начале ноября полностью закрылось.

Чукотское море стало открываться в июне. К концу августа море было открыто до 72° с.ш., а в конце сентября граница области чистой воды дошла до 77° с.ш. Закрылось море в середине декабря.

Развитие ледовых условий в 2023 г. в акватории СЛО и его морей сохранило тенденцию, наблюдающуюся в последнее десятилетие. После развития аномально легких ледовых условий в 2012 г. во все последующие годы, включая 2023 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 легкие ледовые условия (ледовитость на 20—30 % меньше средних многолетних значений). В осенний сезон (особенно в конце октября — начале ноября) наблюдалось аномальное быстрое увеличение площади молодых льдов.

Согласно результатам наблюдений, выполненных в 2023 г., гидрологический режим в Канадской глубоководной котловине СЛО был близок по своим характеристикам к климатической норме. Поверхностный слой был незначительно распреснен по сравнению с климатической нормой. Значения отрицательной аномалии солёности изменялись от $-0,24$ до $-0,6$ ‰ и соответствовали аномалиям, наблюдавшимся в 2022 г.

Как и в предыдущие годы, в Канадской глубоководной котловине наблюдалась положительная аномалия температуры летних тихоокеанских вод, которая составила $0,6—1,2$ °C.

Максимальное значение температуры воды в ядре атлантической водной массы в первом и втором кварталах 2023 г. ($0,8$ °C) соответствовало климатической норме, а в третьем квартале составило $0,85$ °C (на глубине 495 м), что всего на $0,15$ °C превышает климатическую норму.

На протяжении 2023 г. колебания уровня арктических морей в основном происходили на фоне, превышающем средние многолетние значения, но в целом по сравнению с 2022 г. уровень моря не претерпел резких изменений.

В межгодовой изменчивости уровня моря сохранялась положительная тенденция на всех станциях Карского моря и моря Лаптевых, причем на большинстве станций величина тренда несколько повысилась.

Самым штормовым месяцем в Баренцевом море в 2023 г. стал январь. Максимальная значительная высота волн (более $11,0$ м) была рассчитана на 23 и 24 января. Продолжительность шторма составила 5 дней (с 22 по 26 января). Это максимальное значение ниже по сравнению с 2022 г. (в марте 2022 г. было более $12,0$ м).

В Карском море в 2023 г. в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высоты волн от 1 до 2 м. Наиболее штормовыми месяцами стали сентябрь и октябрь. Максимальная высота волн более $4,5$ м была рассчитана на 10, 12 сентября и 3 октября.

Наибольшая расчетная высота волн в море Лаптевых в 2023 г. составила более $5,5$ м (27 сентября). Наибольшая расчетная высота волн в Восточно-Сибирском море составила более $7,5$ м (23 октября). Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила более $6,0$ м (10 ноября).

