

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

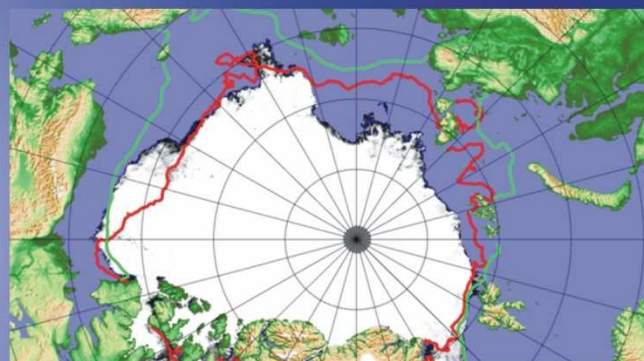


Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический научно-
исследовательский институт

ОБЗОР

гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане

III квартал 2019





СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Метеорологические условия в Северной полярной области в июле — сентябре 2019 г.....	4
1.1. Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов и метеорологические условия в полярном районе Северного полушария за период с июля по сентябрь 2019 г. ...	4
1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области	16
2 Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях в июле-сентябре 2019 года.....	26
3. Гидрологические и гидрохимические условия Северного Ледовитого океана и его морей в 2019 г.....	40
3.1. Термохалинные условия.....	40
3.2 Гидрохимические условия	48
3.3 Уровень арктических морей.....	61
3.4. Ветровое волнение на акватории арктических морей в 3 квартале 2019 г.....	66



ВВЕДЕНИЕ

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях во втором квартале (апрель-июнь) 2019 года. Фактическая информация для составления обзора получена по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, ледовой базы «Мыс Баранова», проектов ВМО и экспедиционных исследований, проводимых в рамках национальных программ и международных проектов российскими и зарубежными организациями.

Обзор продолжает серию ежеквартальных обзоров, описывающих развитие метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане в прошедшем квартале текущего года.

В составлении обзора принимали участие ведущие специалисты ФГБУ «ААНИИ».

Метеорологический раздел, посвящен описанию особенностей развития крупномасштабных метеорологических процессов и изменчивости различных метеорологических элементов. В составлении раздела принимали участие специалисты лабораторий метеорологии (ответственный — зав. лабораторией к.г.н. Радионов В.Ф.) и долгосрочных метеорологических прогнозов (ответственный — зав. лабораторией к.г.н. Иванов В.В.).

Ледовый раздел посвящен описанию развития ледяного покрова и особенностям ледовых явлений в океане, арктических морях и устьевых областях основных арктических рек. Основой для такого анализа послужили данные спутникового мониторинга, полярных станций системы Росгидромета, экспедиционные наблюдения на судах и дрейфующих станциях и архивные климатические данные. В составлении раздела принимали участие специалисты отдела ледового режима и прогнозов (ответственный - зав. лабораторией к.г.н. Юлин А.В., зав. лабораторией к.г.н. Смоляницкий В.М.).

Гидрологический раздел посвящен описанию гидрологических и гидрохимических условия в Северном Ледовитом океане и его морях. В составлении раздела принимали участие специалисты отдела океанологии (ответственный – зав. отделом к.ф.-м.н. Фильчук К.В.). Общее руководство и редакция обзора была выполнена директором ГУ «ААНИИ» чл.-кор. РАН, д.г.н. Фроловым И.Е. Подготовку и оформление обзора осуществляли вед. инженер отдела ледового режима и прогнозов Сороко С.О и науч.сотр. Павлова Е.А.

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



1 Метеорологические условия в Северной полярной области в июле — сентябре 2019 г.

1.1. Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов и метеорологические условия в полярном районе Северного полушария за период с июля по сентябрь 2019 г.

В настоящем разделе приводятся основные результаты мониторинга атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба и метеорологических условий в полярном районе Северного полушария за период с июля по сентябрь 2019 г.

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

Реальное состояние крупномасштабной циркуляции в атмосфере и метеорологические условия в полярном районе Арктики каждого конкретного года существенно отличаются друг от друга и от среднего многолетнего состояния (нормы), что указывает на существование большого числа вариантов конкретных реализаций ОЦА в отдельных локальных районах Арктики. Несмотря на сложность взаимосвязей между элементами макроструктуры, множественность их возможных состояний и сочетаний, в эволюции макросиноптических процессов всегда имеется возможность выявить ряд существенных особенностей, определяющих тенденцию их развития.

В результате мониторинга процессов различного пространственно-временного масштаба с июля по сентябрь 2019 г. были выявлены следующие особенности их развития:

Фоновые особенности развития крупномасштабных атмосферных процессов за третий квартал 2019 г. представлены в виде среднемесячных значений числа дней с основными формами и типами циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма и А.А. Гирса (см. табл. 1.1.1) и карт средних полей геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, приземного давления и температуры воздуха и их аномалий (ниже в данном разделе). В период июль – сентябрь 2019 г. атмосферные процессы в Северной полярной области развивались на аномально повышенной повторяемости в первом секторе процессов восточной (Е) и меридиональной (С) форм циркуляции. Процессы данных форм

превысили норму на 11 и 7 дней соответственно.

Таблица. 1.1.1

Значения числа дней с формами и типами циркуляции и их отклонения от нормы в период июль – сентябрь 2019 г.

Повторяемость	Индексы циркуляции атмосферы					
	Форма			Тип		
	W	C	E	3	M ₁	M ₂
Число дней	17	33	42	32	38	22
Аномалия	-18	7	11	-7	-2	9

Во втором секторе в целом за третий квартал процессы типа M₂ превысили норму на 9 дней и имели наиболее высокую повторяемость в июле. В дальнейшем в августе и сентябре отмечалось сочетание процессов типов M₁ и M₂

Анализ процессов показал, что в июле-сентябре 2019 г. выделяется ряд естественных стадий с однонаправленным развитием крупномасштабных атмосферных процессов.

Ход среднемесячных аномалий числа дней с основными формами и типами циркуляции атмосферы в период с июля по сентябрь 2019 г. представлен на рис. 1.

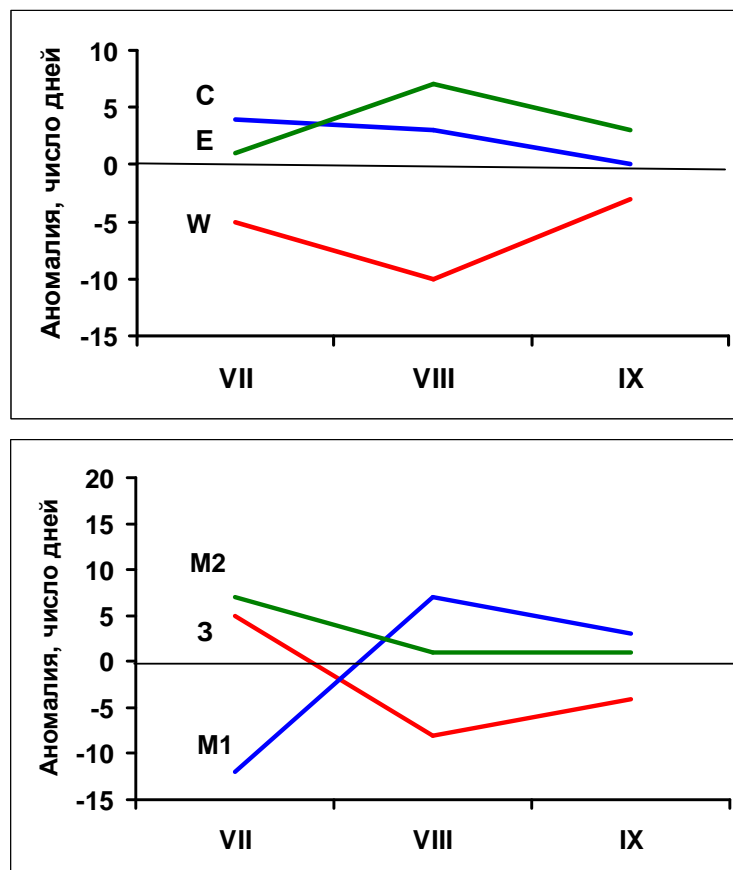


Рис. 1.1.1. Ход среднемесячных аномалий числа дней с основными формами и типами циркуляции атмосферы в период июль – сентябрь 2019 г.

W – западная форма, E – восточная форма, C – меридиональная форма

Схема развития и перестройки крупномасштабных атмосферных процессов в

Северном полушарии с июля по сентябрь 2019 г. выглядит следующим образом:

Июль – (С+Е)_{М2+3} → Август – (Е+С)_{М1+М2} → Сентябрь - (Е+С)_{М1+М2}

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

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

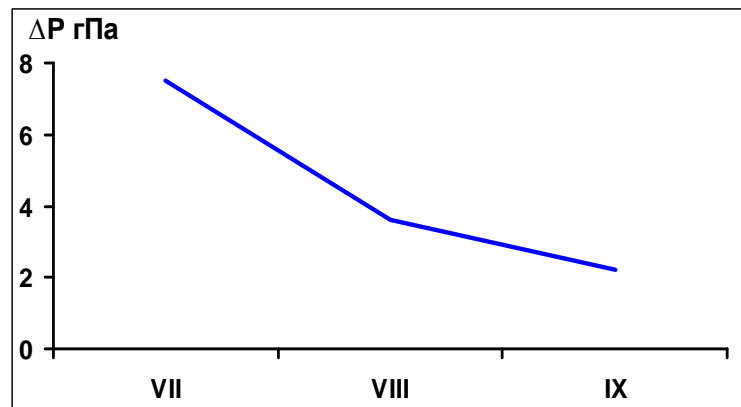


Рис. 1.1.2. Значения аномалий давления (гПа) в июле-сентябре 2019 в полярном районе Арктики

В среднем по полярному району во всех месяцах третьего квартала под влиянием арктического антициклона преобладали положительные аномалии давления. При этом отмечалась устойчивая тенденция к понижению фона давления.

В первом европейском секторе Арктики под влиянием гребня арктического антициклона в период июль-сентябрь отмечался устойчивый фон давления с положительными аномалиями давления. Наиболее активная циклоническая деятельность наблюдалась над континентальной частью Евразии.

Во втором американском секторе Арктики в июле и сентябре под влиянием циклонов в системе алеутского минимума отмечались отрицательных значений аномалий давления. В августе американский сектор находился под устойчивым влиянием гребня антициклона Тихого океана. Фон давления резко повысился от отрицательных до положительных значений аномалий.

В третьем квартала во всех месяца фон температуры в целом над полярным районом был выше нормы и выше, чем в прошлом году. В среднем за квартал фон температуры в этом году повысился на 0,9 °С.

Повышение температурного фона этого года было сопряжено с крупномасштабной перестройкой крупномасштабных атмосферных процессов и усилением интенсивности адвекции теплых воздушных масс в полярный район Арктики. В третьем квартале в

центрального полярном районе возросла повторяемость потоков южных направлений и формирование во всех месяцах в локальных районах Арктики очагов с положительными аномалиями температуры от 2 до 5 °С.

Изменения в июле — сентябре 2019 г. среднемесячных значений аномалий температуры по полярному району представлены на рис. 1.1.3.

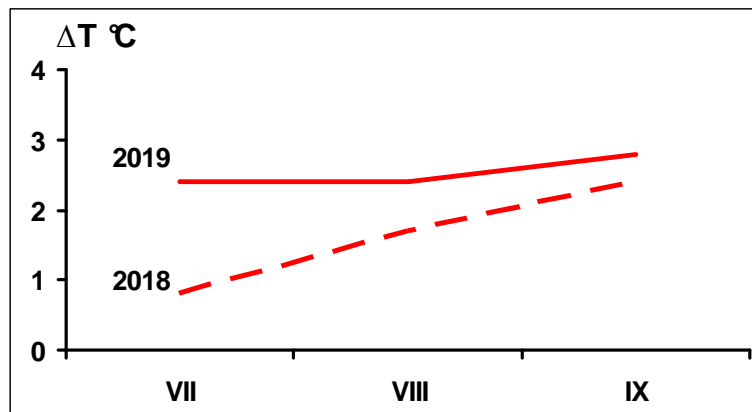


Рис.1.1.3. Средние месячные аномалии температуры воздуха (°C) в широтном поясе 70 – 85° с.ш. в июле – сентябре 2018 и 2019 гг.

Структурные особенности развития атмосферных процессов в третьем квартале 2019 г. проводился по комплексу метеорологических характеристик (основных форм и типов циркуляции и их разновидностей, направлению воздушных потоков, давлению и температуры воздуха и их аномалии) за различные периоды осреднения, как календарные, так и по естественным стадиям перестройки процессов различного временного масштаба.

Более подробно основные особенности развития атмосферных процессов в июле — сентябре 2019 г. и их влияние на структуру термобарических полей в отдельных районах Арктики представлены ниже.

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

В июле 2019 г. основной центр циркумполярного вихря на изобарической поверхности 500 гПа сместился из района Карского моря в район Новосибирских островов. Высотные его ложбины была ориентированы на ЕТР и район Канады (см. рис. 1.1.4). Существенным отличием по сравнению с предыдущим месяцем явилось высокая повторяемость высотного гребня над Северной Атлантикой и западным сектором полярного района Арктики.

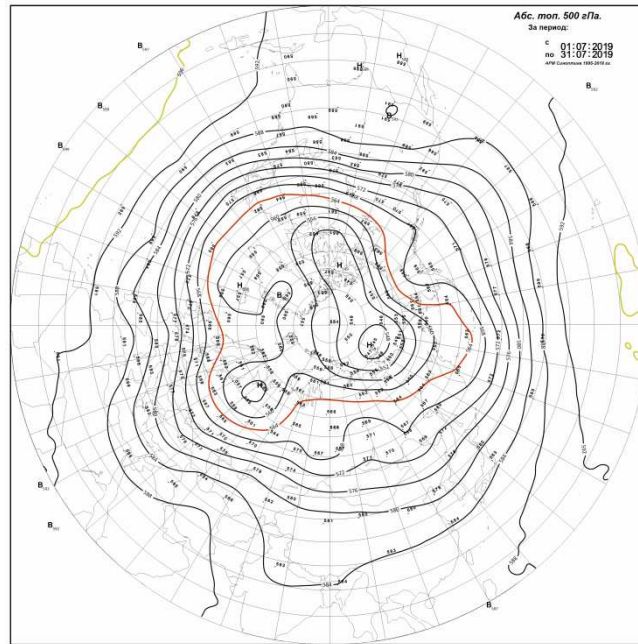


Рис. 1.1.4. Поля среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в июле 2019 г.

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

Под влиянием блокирующего гребня арктического антициклона циклоническая деятельность отмечалась над ЕТР и Уралом. В полярном районе сформировался фон давления выше нормы (см. рис. 1.1.5).

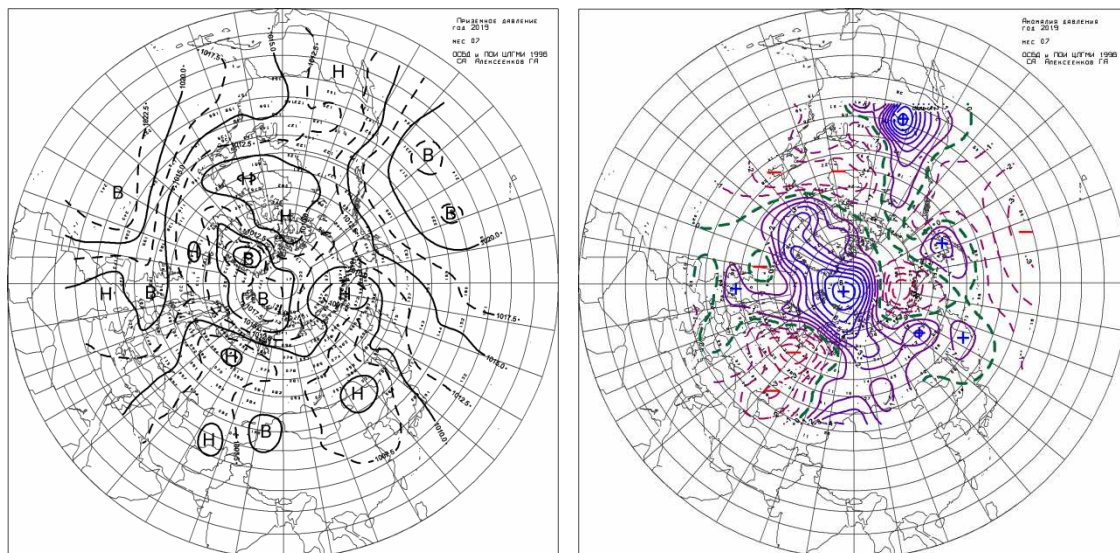


Рис. 1.1.5. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в июле 2019 г.(гПа)

Фон температуры выше нормы на 1 — 2 °С. Наиболее высокие значения температуры отмечались в районе Карского моря.

Во *втором (тихоокеано-американском) секторе* наибольшую повторяемость имели зональные процессы. Особенностью процессов данного месяца явилось усиление циклонической деятельности в системе алеутского минимума. Циклоны смещались по высокоширотным траекториям в восточный сектор полярный район. Фон давления в данном секторе Арктики ниже нормы.

Под частым влиянием воздушных потоков южных и юго-восточных направлений температурный фон выше нормы на 3 — 4 °С (см. рис. 1.1.6).

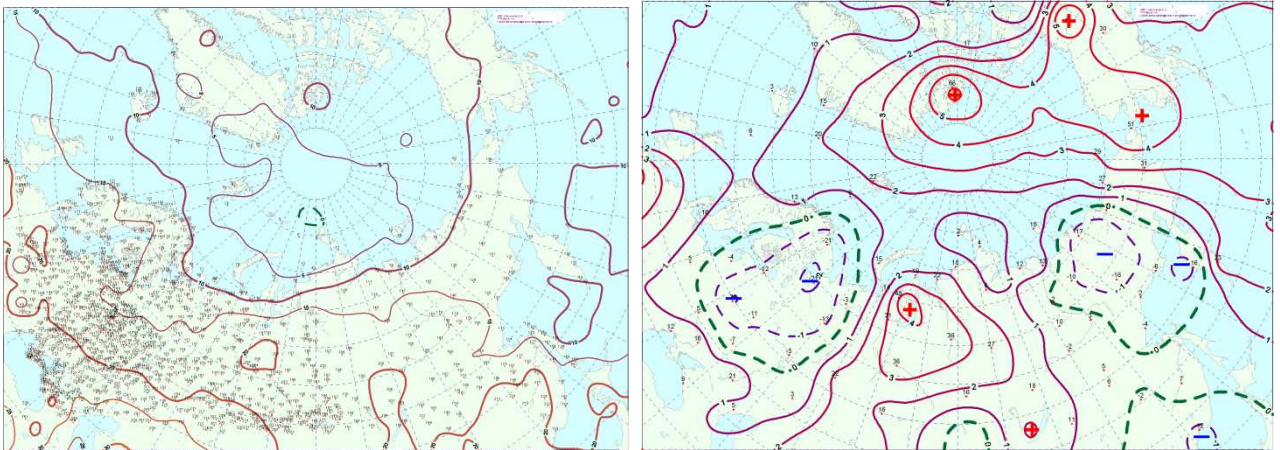


Рис. 1.1.6. Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в июле 2019 г., (°С)

В *августе 2018 г.* основной центр ЦПВ сместился в район моря Бофорта. Отличием по сравнению с предыдущим месяцем явилось усиление высотного гребня антициклона со стороны Тихого океана, где в приземном поле сформировался устойчивый антициклон (см. рис. 1.1.7).

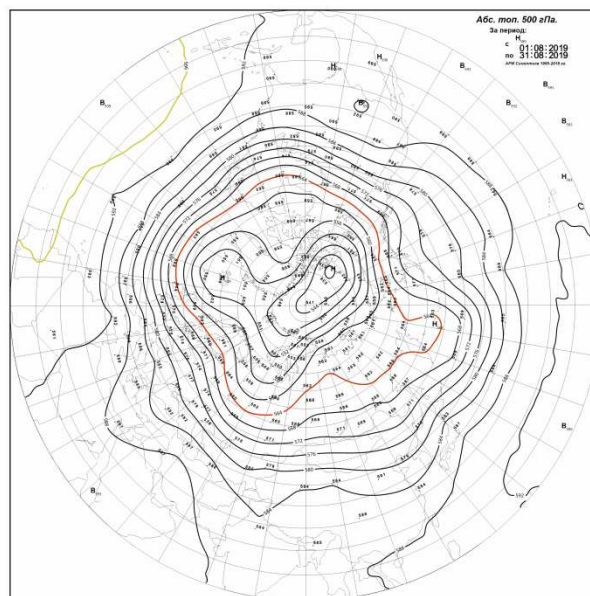


Рис. 1.1.7. Поля среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в августе 2019 г.

В первом секторе отмечалась повышенная повторяемость процессов восточной формы циркуляции. Гребень азорского антициклона был ориентирован на континентальную часть Европы. Циклоны Северной Атлантики под влиянием гребня арктического антициклона смещались по сравнению с нормой по низкоширотным траекториям через акваторию Баренцева и Карского морей до района Западной Сибири.

Фон давления в этом секторе Арктики устойчиво выше нормы. Отрицательные аномалии давления отмечались только в Норвежском, Баренцевом и Карском морях (см. рис. 1.1.8).

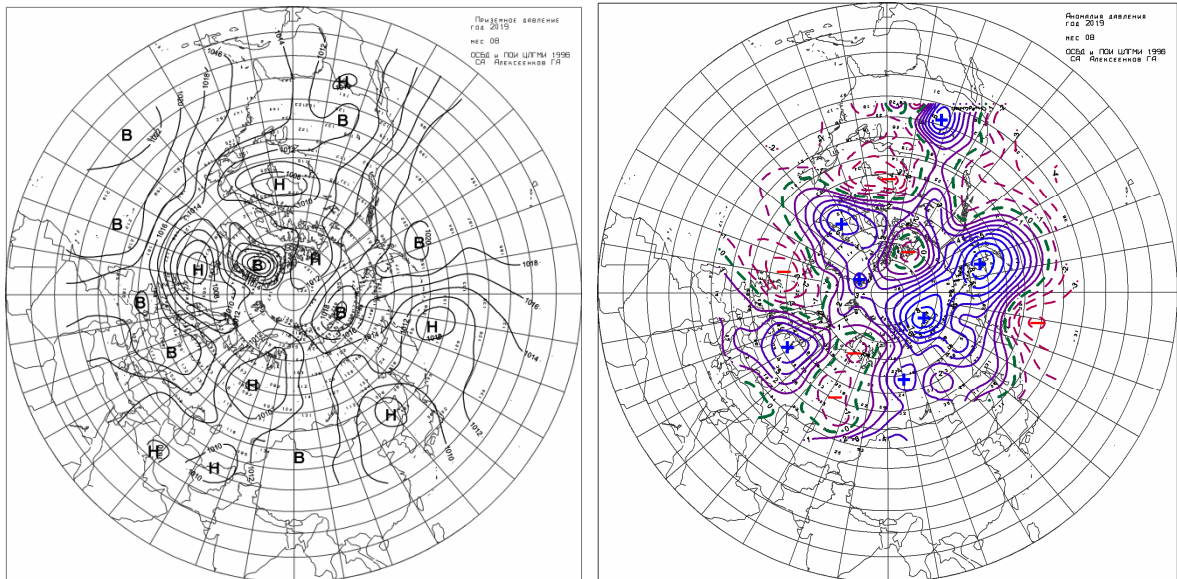


Рисунок 1.1.8. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в августе 2019 г. (гПа)

Под влиянием адвекции теплых воздушных масс фон температуры во всех районах данного сектора Арктики сохранился выше нормы. Наиболее высокие значения с положительными аномалиями температуры 3 — 5 °С отмечались в море Лаптевых и Карском море.

Во втором секторе по сравнению с предыдущим месяцем произошла кардинальная перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов от зональных к меридиональному типу M_1 . Число дней с данным типом циркуляции атмосферы составило 20 дней, что выше нормы на 7 дней.

Над Тихим океаном сформировался обширный антициклон, который своим гребнем над восточным сектором блокировал выходы циклонов в Арктику. Преобладали крупные положительные аномалии давления до 6 — 8 гПа. При воздушных потоках южных направлений температурный фон выше нормы на 2 — 3 °С (см. рис. 1.1.9).

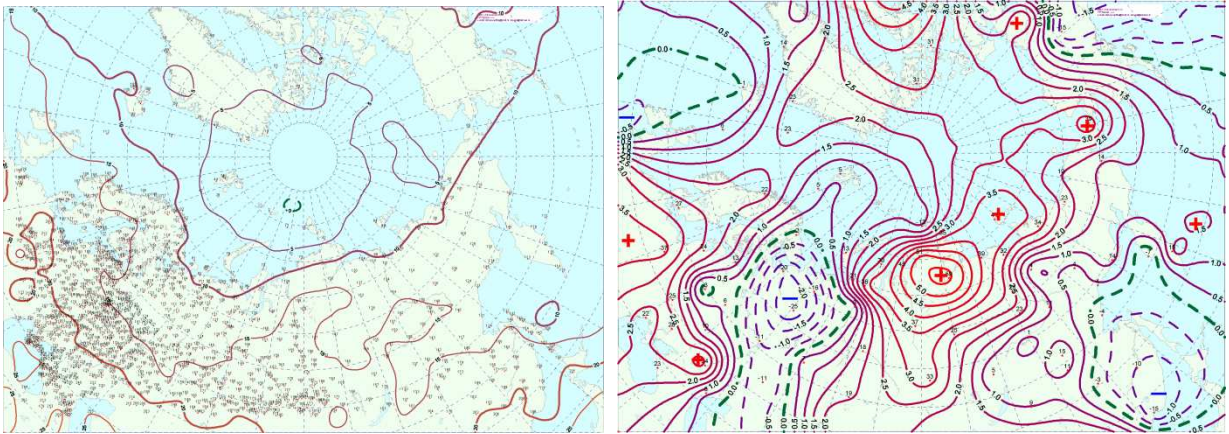


Рис. 1.1.9. Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в августе 2019 г., (°C)

В *сентябре 2018 г.* основной центр циркумпольного вихря находился в районе Карского моря (см. рис. 1.1.10). По сравнению с августом отмечалось ослабление блокирующего гребня над Европой и западным сектором Арктики, что способствовало усилению в толще тропосферы над этими районами западного потока.

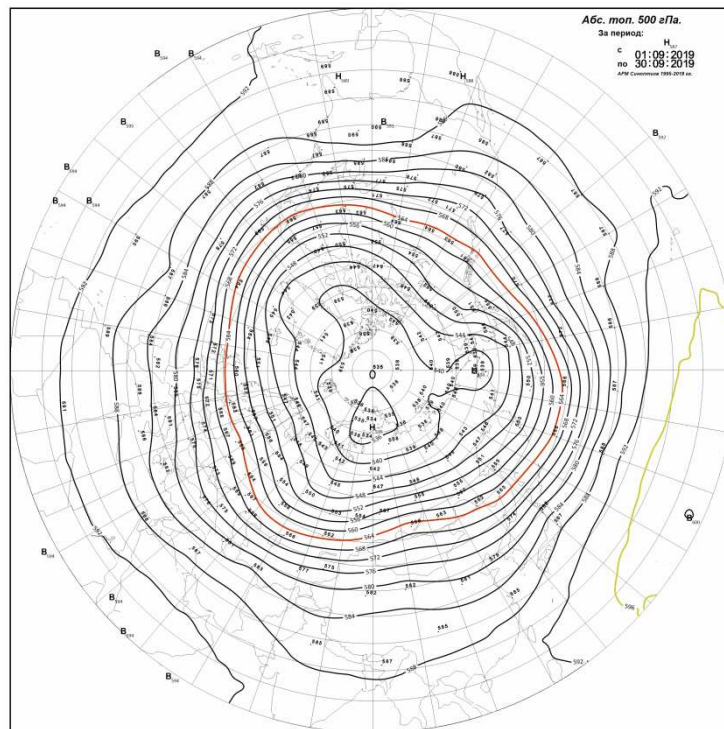


Рис. 1.1.10. Поля среднего геопотенциала (дам) изобарической поверхности 500 гПа в сентябре 2019 г.

. В *первом секторе* наибольшую повторяемость имели процессов восточной (Е) форм циркуляции. Число дней с данными формами составило 12 дней. Циклоны Северной Атлантики смещались по траекториям близким к норме.

В приполюсный район Арктики преобладали положительные аномалии давления. В морях российской Арктики преобладали устойчивые отрицательные аномалии давления (см. рис. 1.1.11).

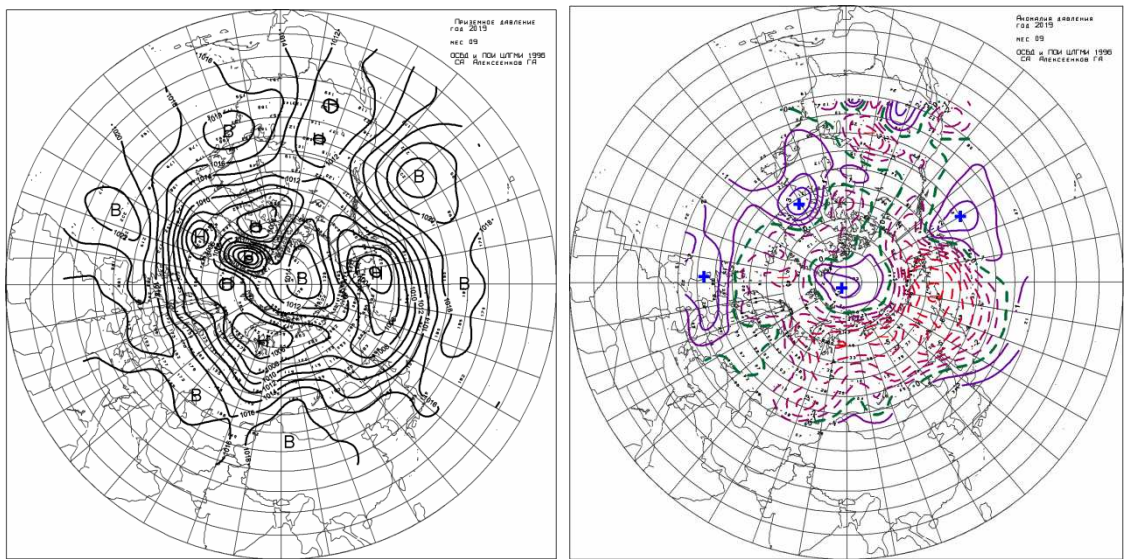


Рисунок 1.1.11. Поле среднего приземного давления (слева) и его аномалии (справа) в сентябре 2019 г.(гПа)

При устойчивых потоках с юго-восточных направлений фон температуры выше нормы.

Во *втором секторе* произошло ослабление меридиональные процессы типа M_1 . Гребень антициклона над Тихим океаном был ориентирован на континентальную часть Северной Америки. Вследствие этого наиболее активная циклоническая деятельность наблюдалась над приморским районом Дальнего Востока России и Берингова моря. Над акваторией морей данного сектора Арктики преобладала адвекцию теплых воздушных масс с юга. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры до 3 — 4 °С отмечались в районе Чукотского моря и Аляски (см. рис. 1.1.12).

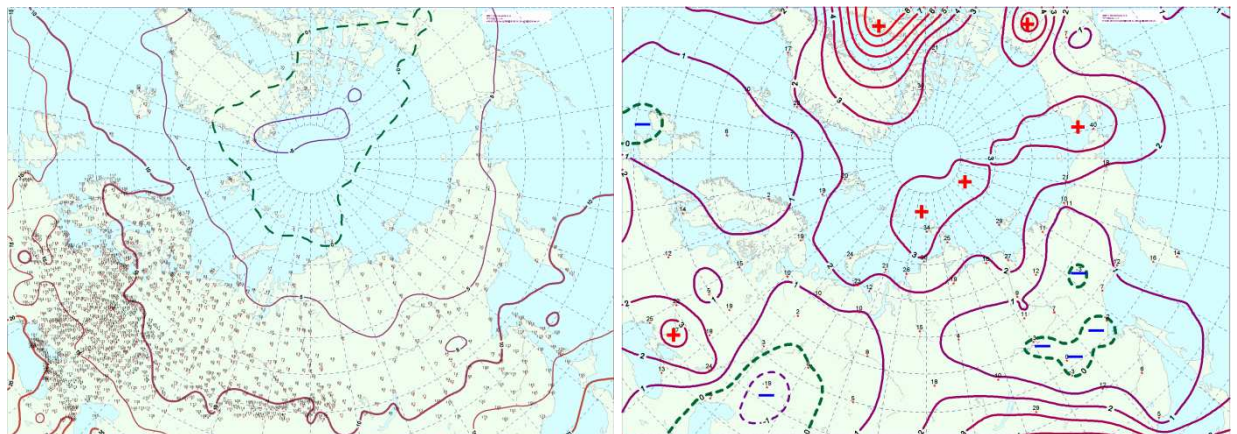


Рис. 1.1.12. Поле средней месячной приземной температуры воздуха (слева) и аномалии температуры (справа) в сентябре 2019 г., (°С)

Проведенный анализ развития и перестроек атмосферных процессов показал, что характерный для текущей циркуляционной стадии развития атмосферных процессов высокий температурный фон с преобладанием положительных аномалий температуры в третьем квартале 2019 г. сохранился. Как было показано, основным отличием с третьим кварталом прошлого 2018 г., явилось повышение температурного фона в целом по полярному району Арктики на $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1.1.3).

В 2019 г. во всех морях фон температуры в третьем квартале оказался, как и в прошлом году, оказался выше нормы. Наиболее высокий фон температуры отмечался в море Лаптевых, а низкий — в Баренцевом море.

На рисунке 1.1.13 приводятся фоновые средние за третий квартал 2019 г. значения аномалий температуры для акваторий морей российской Арктики.

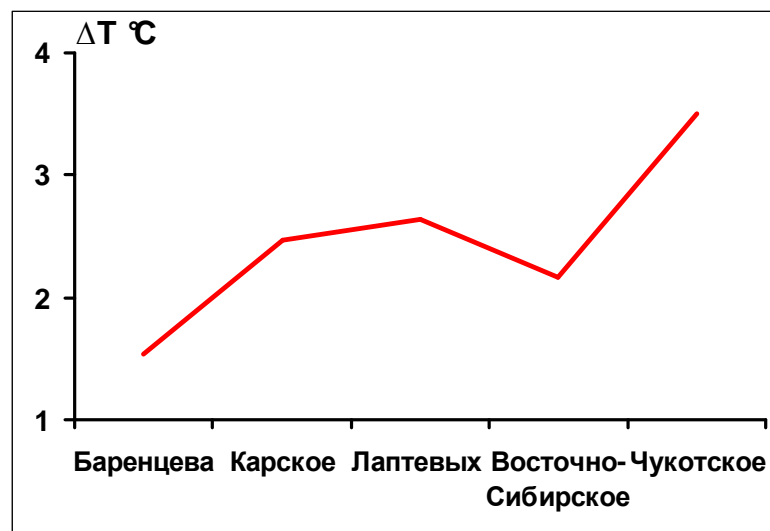


Рис. 1.1.13. Средние за третий квартал значения аномалий температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) по акваториям морей российской Арктики в 2019 гг.

Анализ структурных особенностей циркуляции атмосферы внутри каждого месяца в июле — сентябре 2019 г. проводился по естественным стадиям однонаправленного развития процессов — по 26 разновидностям элементарных синоптических процессов (ЭСП) атлантико-евразийского сектора Северного полушария, процессы которого являются определяющими для перестройки циркуляции атмосферы в полярном районе Арктики.

Анализ показал, что для каждого месяца характерна большая повторяемость перестройки процессов. Переходы от одного ЭСП к другому сопровождались сменой знака барических полей и направления преобладающих воздушных потоков в полярном районе Арктики и были обусловлены крупномасштабной перестройкой разновидностей атмосферных процессов в двух секторах Северного полушария. Основные



разновидности основных форм циркуляции в атлантико-евразийском секторе полушария с типами циркуляции в тихоокеано-американском секторе полушария для каждого ЭСП с июля по сентябрь 2019 г. представлены в таблице 1.1.2.

Таблица 1.1.2

Каталог макросиноптических процессов по классификации Вангенгейма – Гирса с июля по сентябрь 2019 г. с внутримесячной детализацией атмосферных процессов по элементарным синоптическим процессам

Июль 2019			Август 2019			Сентябрь 2019		
ЭСП	А-Е	Т-А	ЭСП	А-Е	Т-А	ЭСП	А-Е	Т-А
1-4	Е	M ₁	1-4	С	M ₁	1-2	Е	M ₁
5-6	W	M ₁	5-7	С	M ₁	3-5	Е	M ₁
7-10	С	M ₂	8-9	W	M ₁	6-9	W	M ₁
11-12	С	M ₂	10-12	С	M ₁	10-13	Е	M ₂
13-16	С	M ₂	13-18	Е	З	14-16	W	З
17-19	W	З	19-22	Е	M ₁	17-20	С	З
20-21	С	З	23-26	Е	M ₁	21-24	С	З
22-25	Е	З	27-31	Е	M ₂	25-27	Е	M ₁
26-28	Е	З				28-30	W	M ₂
29-31	С	З						
Итого	W 5 (-5) С 15 (4) Е 11 (1)	З 15 (5) M ₁ 6 (-12) M ₂ 10 (7)	Итого	W 2 (-10) С 10 (3) Е 19 (7)	З 6 (-8) M ₁ 20 (7) M ₂ 5 (1)	Итого	W 10 (-3) С 8 (0) Е 12 (3)	З 11 (-4) M ₁ 12 (3) M ₂ 7 (1)

Примечания: 1. ЭСП – элементарный синоптический процесс; 2. А-Е – атлантико-европейский сектор полушария; 3. Т-А – тихоокеано-американский сектор полушария; 4. В скобках среднемесячные аномалии числа дней с формами (W, С, Е) и типами (З, M₁, M₂) атмосферной циркуляции.

Обобщая данные мониторинга развития и перестроек крупномасштабных атмосферных процессов и характера их проявления в метеорологических условиях полярного района Арктики за период июль-сентябрь 2019 г., можно сделать следующие основные выводы.

1. В период июль – сентябрь 2019 г. атмосферные процессы в Северной полярной области развивались на аномально повышенной повторяемости в первом секторе процессов восточной (Е) и меридиональной (С) форм циркуляции. Процессы данных форм превысили норму на 11 и 7 дней соответственно.

Во втором секторе в целом за третий квартал процессы типа M₂ превысили норму на 9 дней и имели наиболее высокую повторяемость в июле. В дальнейшем в августе и сентябре отмечалось сочетание процессов типов M₁ и M₂

2. В средней тропосфере на изобарической поверхности H₅₀₀ в июле основной центр циркумполярного вихря располагался вблизи Новосибирских островов, в августе - в канадский район Арктики, а в сентябре – в районе Карского моря



3. Циклоны в системе исландского минимума под влиянием гребней арктического антициклона смещались по низкоширотным траекториями и не оказывали существенного влияния на полярный район Арктики.

4. Во всех месяца фон температуры в целом над полярным районом был выше нормы и выше, чем в прошлом году. В среднем за квартал фон температуры повысился на 0,9 °С.

5. В 2019 г. во всех морях фон температуры в третьем квартале оказался, как и в прошлом году, выше нормы. Наиболее высокий фон температуры отмечался в море Лаптевых, а низкий – в Баренцевом море.

1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области

В настоящем разделе приводятся оценки изменения температуры воздуха по районам северной полярной области (рис.1.2.1) и арктическим морям.

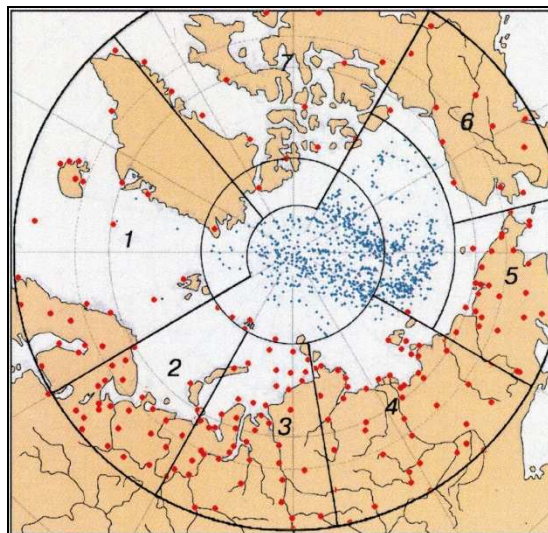


Рис. 1.2.1. Сеть метеорологических станций и границы районов в северной полярной области

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

Температура воздуха

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

Оценка аномалий средней температуры воздуха за летний сезон 2019 года по отдельным широтным зонам (60—85, 60—70 и 70—85° с.ш.) представлена в табл.1.2.1.

Таблица 1.2.1

Аномалия температуры воздуха (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) на территории СПО и отдельных широтных зон в среднем за летний сезон 2019 г.

Широтная зона, °с.ш.	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
0—85	1,9	2	2012 (2,0)	1963 (-0,7)
60—70	1,6	2	2016 (2,0)	1949 (-0,8)
60—85	1,7	2	2016 (2,0)	1949 (-0,8)

В летнем сезоне 2019 г. аномалия температуры воздуха СЛО составила 1,7 °С. Лето 2019 г. по рангу теплых лет оказалось вторым теплым летом за период с 1936 г.

Аномалия температуры для широтной зоны 70 — 85° с.ш. составила 1,9 °С, а для широтной зоны 60 — 70° с.ш. —1,6 °С.

Прошедший летний сезон обеих широтных зон оказался соответственно вторым по рангу теплых лет за период с 1936 г.

Сопоставление значений аномалий летней температуры воздуха в 2019 г. в отдельных климатических районах показало наличие больших положительных аномалий температуры в азиатском секторе (рис.1.2.2, табл.1.2.2). Аномалия температуры в Восточносибирском районе составила 2,9 °С. По рангу теплых лет это наибольшее значение с 1936 г.

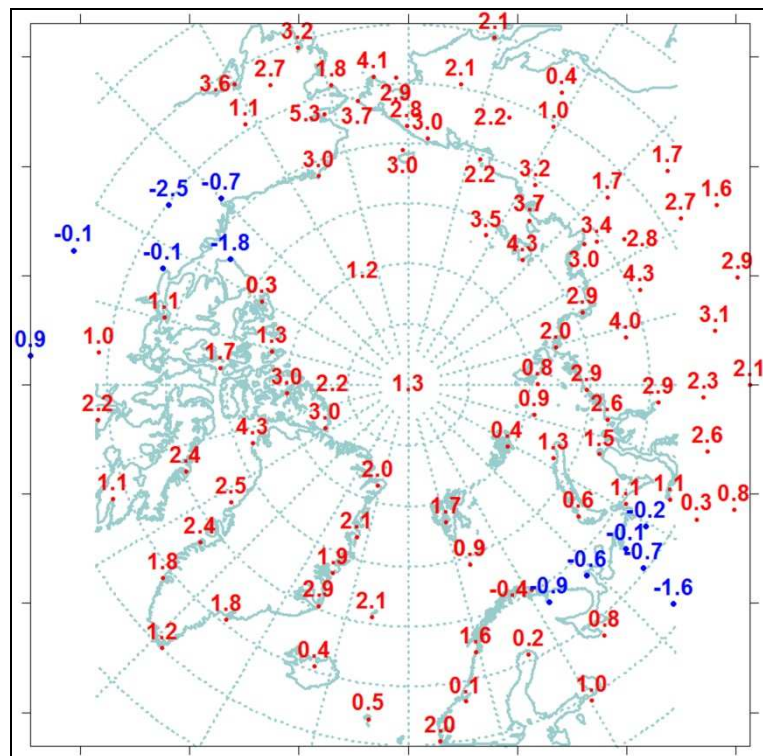


Рис. 1.2.2. Значения аномалий средней температуры воздуха летнего сезона 2019 г. на станциях Северной полярной области, °С

Таблица 1.2.2

Аномалии (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) средней температуры воздуха в летнем сезоне 2019 г. для отдельных районов СПО, °С

Климатический район	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
Атлантический	1,5	3	2003 (1,9)	1965 (–0,7)
Североевропейский	0,0	20	2013 (2,8)	1969 (–1,6)
Западносибирский	1,7	4	2016 (3,6)	1968 (–1,6)
Восточносибирский	2,9	1	2019 (2,9)	1989 (–1,2)
Чукотский	2,7	2	2007 (2,9)	1949 (–1,3)
Аляскинский	1,9	2	2004 (2,9)	1945, 1955 (–1,3)
Канадский	1,7	5	2012 (2,3)	1972 (–1,6)



В Североευропейском районе и в западной части Канадского района наблюдались отрицательные аномалии температуры. В арктических морях наиболее высокие значения положительных аномалий обнаруживались в районе морей азиатского сектора: Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. В районе моря Лаптевых осредненная аномалия составила 3,2 °С (см. табл.1.2.3). По рангу теплых лет это наибольшее значение с 1936 г.

Таблица 1.2.3

Аномалии температуры воздуха в летнем сезоне 2019 г. на территории севернее 70° с.ш.

Море, часть климатического района	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)	Наиболее холодный год (аномалия)
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	1,9	4	2016 (2,4)	1965 (-0,7)
Баренцево море	0,2	18	2013 (2,8)	1949 (-1,2)
Карское море	1,6	6	2016 (3,1)	1968 (-1,2)
Море Лаптевых	3,2	1	2019 (3,2)	1962 (-1,5)
Восточно-Сибирское море	3,1	2	2007 (3,7)	1949 (-1,6)
Чукотское море	3,2	2	2007 (3,9)	1965 (-1,6)
Море Бофорта	0,2	19	2012 (2,5)	1947 (-1,5)
Северная часть Канадского района	2,3	2	2011, 2012 (2,7)	1972 (-1,6)

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

Оценка линейного тренда средней температуры воздуха СПО и отдельных широтных зон за летний сезон 1936 — 2019 гг. показала наличие статистически значимого (на 5% уровне значимости) положительного линейного тренда как для широтных зон к северу и югу от 70° с.ш., так и для СПО в целом (табл.1.2.4). Повышение температуры летнего сезона в этих широтных зонах составило 1,18; 1,26 и 1,18 °С за 84 года.

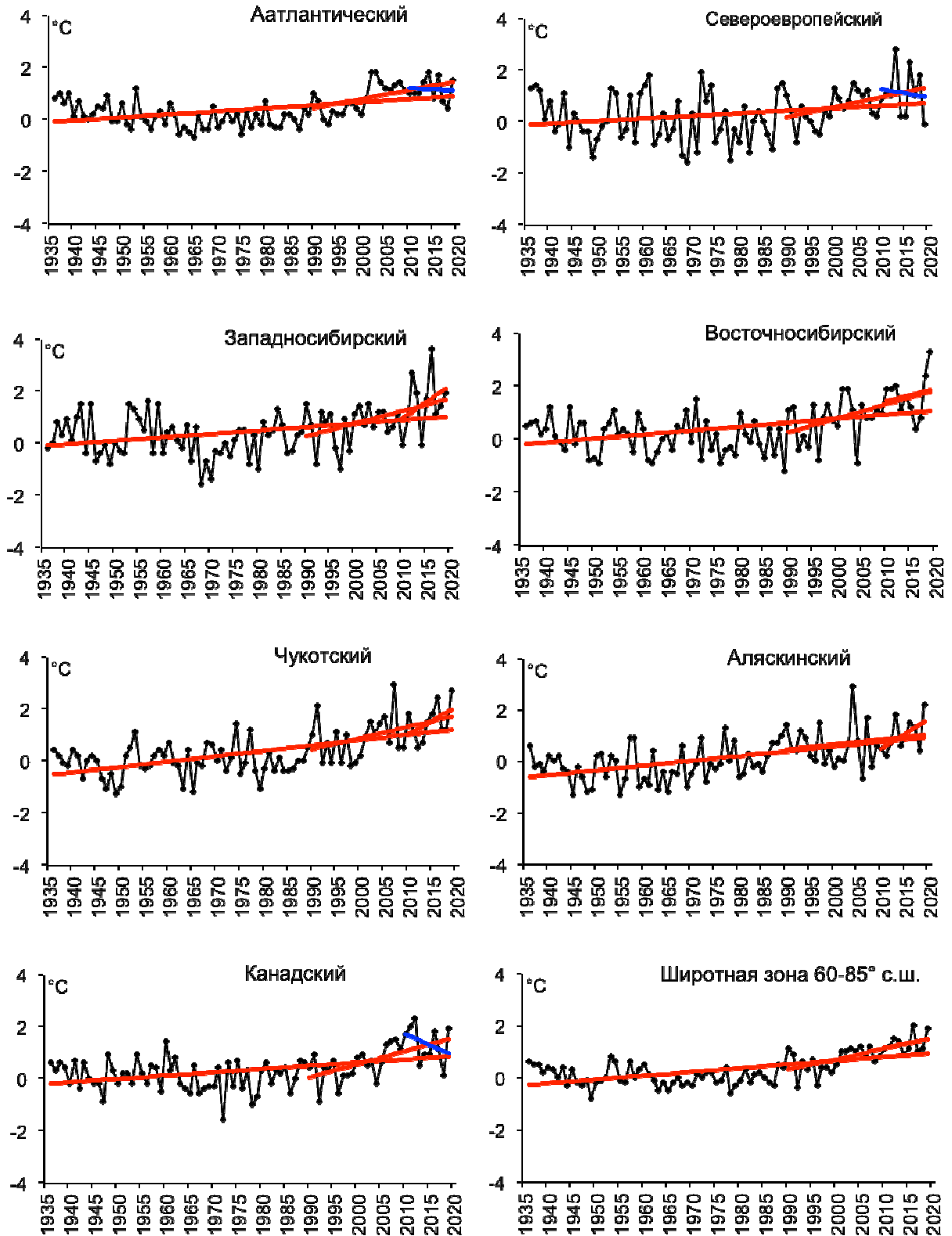


Рис. 1.2.3. Временные ряды аномалий средней за летний сезон температуры воздуха в климатически однородных районах Арктики и в Арктическом регионе в целом, °С

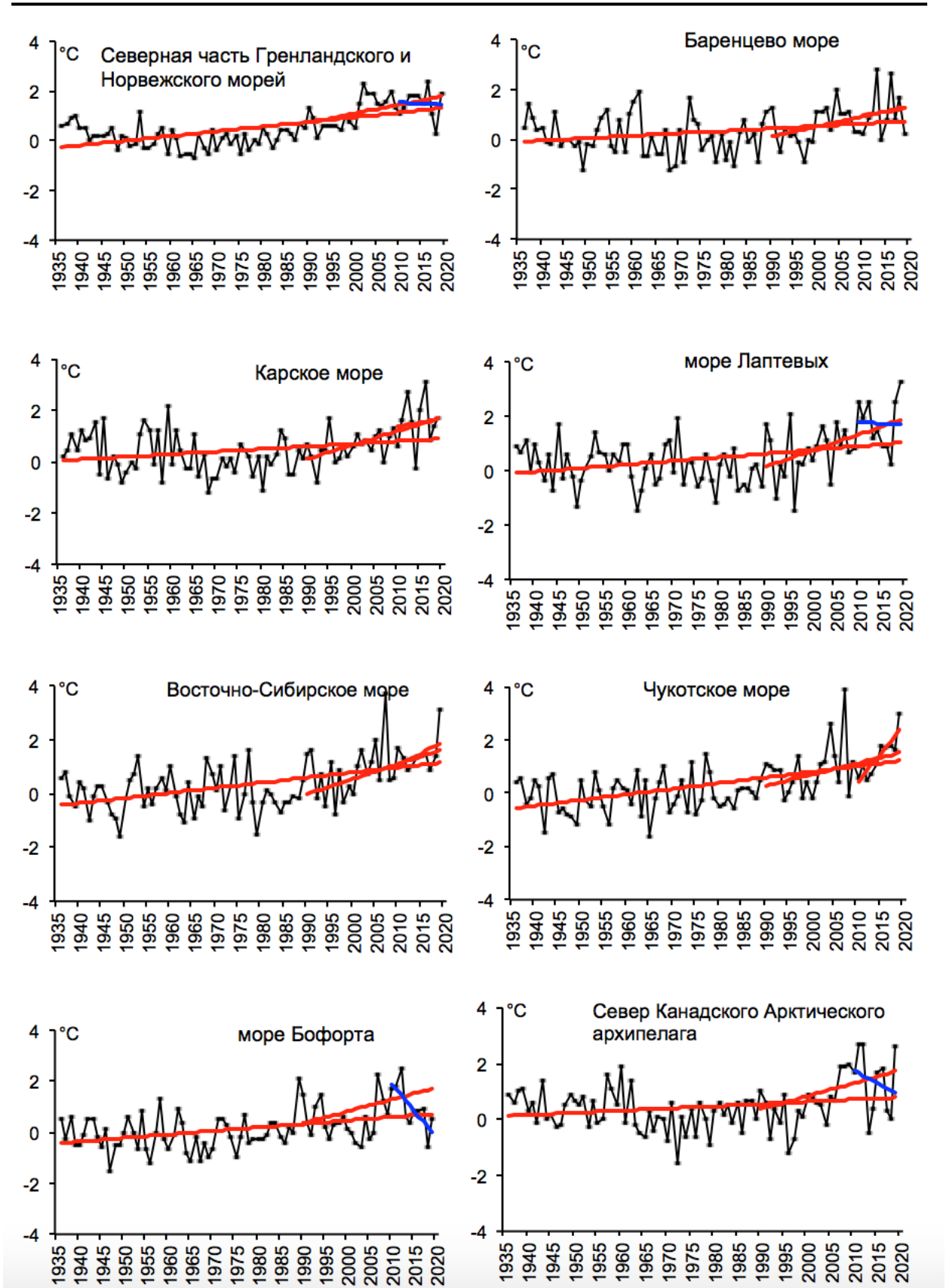


Рис. 1.2.4. Временные ряды аномалий средней за летний сезон температуры воздуха над акваториями морей и Канадским архипелагом, °C



Таблица 1.2.3

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

Район, широтная зона	1936-2019		1990-2019		2010-2019	
	<i>Bx</i>	<i>D</i>	<i>Bx</i>	<i>D</i>	<i>Bx</i>	<i>D</i>
Атлантический	0,12	46,0	0,34	53,7	-0,08	5,2
Североевропейский	0,10	25,8	0,40	45,0	-0,28	9,3
Западносибирский	0,13	35,5	0,47	43,3	1,13	29,9
Восточносибирский	0,15	41,9	0,50	49,7	0,24	9,7
Чукотский	0,21	58,4	0,43	45,7	1,07	46,4
Аляскинский	0,18	54,3	0,18	20,2	0,99	49,7
Канадский	0,12	42,1	0,48	57,3	-1,04	45,3
70-85° с.ш.	0,14	55,3	0,43	64,8	-0,10	6,3
60-70° с.ш.	0,15	61,8	0,36	62,5	0,53	44,4
60-85° с.ш.	0,14	58,7	0,39	66,7	0,25	22,2

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

Для последнего тридцатилетнего периода 1990 — 2019 гг. в СПО и в отдельных широтных зонах в летней температуре характерны статистически значимые (на 5% уровне значимости) положительные тренды. Повышение температуры в целом по региону составляет 1,17 °C за 30 лет. В отдельных районах наиболее высокие значения тренда наблюдаются в изменениях температуры Восточносибирского района. Значение линейного тренда средней за летний сезон температуры воздуха в здесь составляет 1,50 °C/30 лет.

В последнем десятилетнем периоде отмечается появление отрицательного тренда в изменениях температуры воздуха Атлантического, Североевропейского и Канадского районов, а также в целом в широтной зоне к северу от 70° с.ш. Однако значения тренда статистически незначимы. В целом по региону знак тренда в температуре летнего сезона положителен.

В районах арктических морей наиболее высокая скорость повышения температуры воздуха наблюдается с последнего 30-ти летнего периода. В районе Карского моря, моря Лаптевых а также в северной части Канадского района значения линейного тренда соответственно составили 1,62, 1,74 и 1,62 °C/30 лет (табл.1.2.4). В последнем десятилетнем периоде наблюдается появление разнонаправленных статистически значимых линейных трендов в районе Чукотского моря и моря Бофорта.

Таблица 1.2.4

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

Море, часть моря	1936-2019		1990-2019		2010-2019	
	<i>B_x</i>	<i>D</i>	<i>B_x</i>	<i>D</i>	<i>B_x</i>	<i>D</i>
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,19	61,7	0,36	51,6	-0,11	5,7
Баренцево море	0,10	28,2	0,41	42,7	0,29	9,0
Карское море	0,10	28,0	0,54	56,8	0,32	9,6
Море Лаптевых	0,13	34,1	0,58	48,4	-0,15	4,9
Восточно-Сибирское море	0,19	48,7	0,47	43,4	0,90	42,8
Чукотское море	0,22	55,1	0,47	43,2	2,25	84,7
Море Бофорта	0,13	40,3	0,10	10,3	-2,39	76,2
Северная часть Канадского района	0,08	22,1	0,56	47,8	-1,05	27,2

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

Атмосферные осадки

Оценка выпавшего количества осадков в СПО проводится по тем же климатическим районам, что и для температуры воздуха. За теплый сезон принят период с июня по сентябрь (преимущественно выпадают жидкие осадки).

В целом для СПО осадков в теплом сезоне 2019 г. выпало около нормы (100,6%). К югу от 70° с.ш. осадков выпало 102,6%, а к северу — 103,2% от нормы (табл.1.2.5). Наименьшее количество осадков выпало в восточносибирском (81,7% от нормы) и Чукотском (81,1%) районах. Соответственно пятое и одиннадцатое значение в ряду возрастающих значений. Более обильные осадки наблюдались в западносибирском (112,3%) и Аляскинском (113,1%) районах.

Таблица 1.2.5

Относительные аномалии (в % от нормы 1961 — 1990 гг.) сумм осадков теплого сезона 2019 г.

Климатический район, широтная зона	Относительная аномалия	Наибольшее значение	Наименьшее значение
Атлантический	98,0	1964 (120,5)	1968 (75,2)
Североевропейский	104,5	1981 (128,4)	1980 (68,5)
Западносибирский	112,3	2002 (122,6)	1946 (72,4)
Восточносибирский	81,7	1988 (125,2)	1967 (78,4)
Чукотский	81,1	1954 (139,6)	1982 (60,2)
Аляскинский	113,1	1951 (164,4)	1968 (54,1)
Канадский	111,6	2005 (123,5)	1977 (75,0)
60-70° с.ш.	102,6	1954 (115%)	1968 (88%)
70-85° с.ш.	103,2	1989 (127%)	1998 (84%)
60-85° с.ш.	100,6	1954 (117%)	1980 (90%)

В табл. 1.2.6 приведены оценки изменения сумм осадков теплого сезона за весь период (с 1936 по 2019 гг.) по северным (70 — 85° с.ш.) и южным (60 — 70° с.ш.) частям климатических районов и для районов в целом. На рис. 1.13 временные ряды сумм осадков теплого сезона для районов арктических морей и территорий севернее 70° с.ш.

Таблица 1.2.6

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

Район, широтная зона	<i>Bx</i>	% от нормы	<i>D</i>	<i>Bx</i>	% от нормы	<i>D</i>
	1936–2019			1990–2019		
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	-0,76	-1,7	6,3	0,52	0,4	1,5
Скандинавия и север ЕТР	2,58	8,8	21,7	6,62	8,1	16,8
Западная Сибирь	-0,80	-2,7	6,6	6,77	8,2	17,2
Восточная Сибирь	-0,57	-2,7	7,9	-5,32	-9,2	25,6
Чукотка	-0,28	-1,4	2,8	1,82	3,3	6,3
Аляскинский (южная часть)	-0,59	-2,5	3,8	10,63	16,3	26,7
Канадский (южная часть)	2,13	12,1	31,0	-0,61	-1,2	2,8
60–70° с.ш.	0,27	1,0	6,0	2,98	4,1	20,8
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,84	5,7	8,2	3,28	8,0	12,8
Баренцево море	-0,50	-2,7	4,7	3,10	6,0	14,8
Карское море	-0,74	-5,0	8,1	7,65	18,5	26,2
Море Лаптевых	-3,32	-22,0	34,4	-4,27	-10,1	21,5
Восточно-Сибирское море	-5,75	-41,3	49,3	–	-40,0	52,8
Чукотское море	-4,73	-30,6	34,0	15,57	-21,2	29,2
Море Бофорта	1,43	13,5	18,6	-9,15	9,0	14,9
Канадский (северная часть)	0,61	7,7	11,1	2,67	-14,1	18,2
70–85° с.ш.	-0,79	-5,9	18,7	-3,11	4,5	20,9
Атлантический	-0,36	-1,0	4,1	0,82	0,9	3,5
Североевропейский	1,13	4,5	13,0	5,10	7,3	18,3
Западносибирский	-0,95	-4,1	11,9	7,11	10,9	26,5
Восточносибирский	-1,39	-7,5	21,8	-5,15	-9,9	28,5
Чукотский	-2,03	-11,4	23,6	-2,50	-5,0	10,6
Аляскинский	-1,60	-7,7	12,4	-0,93	-1,6	3,1
Канадский	1,46	10,4	30,7	-1,55	-4,0	10,3
60–85° с.ш.	-0,51	-2,3	14,6	0,51	0,8	5,3

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

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

Третий столбец – вклад тренда в полную дисперсию *D*%;

Жирным шрифтом выделены статистически значимые на 5% уровне тренды

В межгодовых изменениях осадков теплого сезона за период 1936 — 2019 гг. сохраняется тенденция к уменьшению жидких осадков в целом по региону (на 2,3 % от нормы 1961 — 1990 гг.) и к северу от 70° с.ш. (на 5,9 % от нормы). Статистически

значимый (на 5-% уровне значимости) тренд осадков теплого сезона обнаруживается только в Канадском районе (1,46 мм за 10 лет).

В арктических морях за весь период наблюдений, за исключением северной части Гренландского и Норвежского морей, а также моря Бофорта, преобладает тенденция к уменьшению количества осадков (рис. 1.2.4).

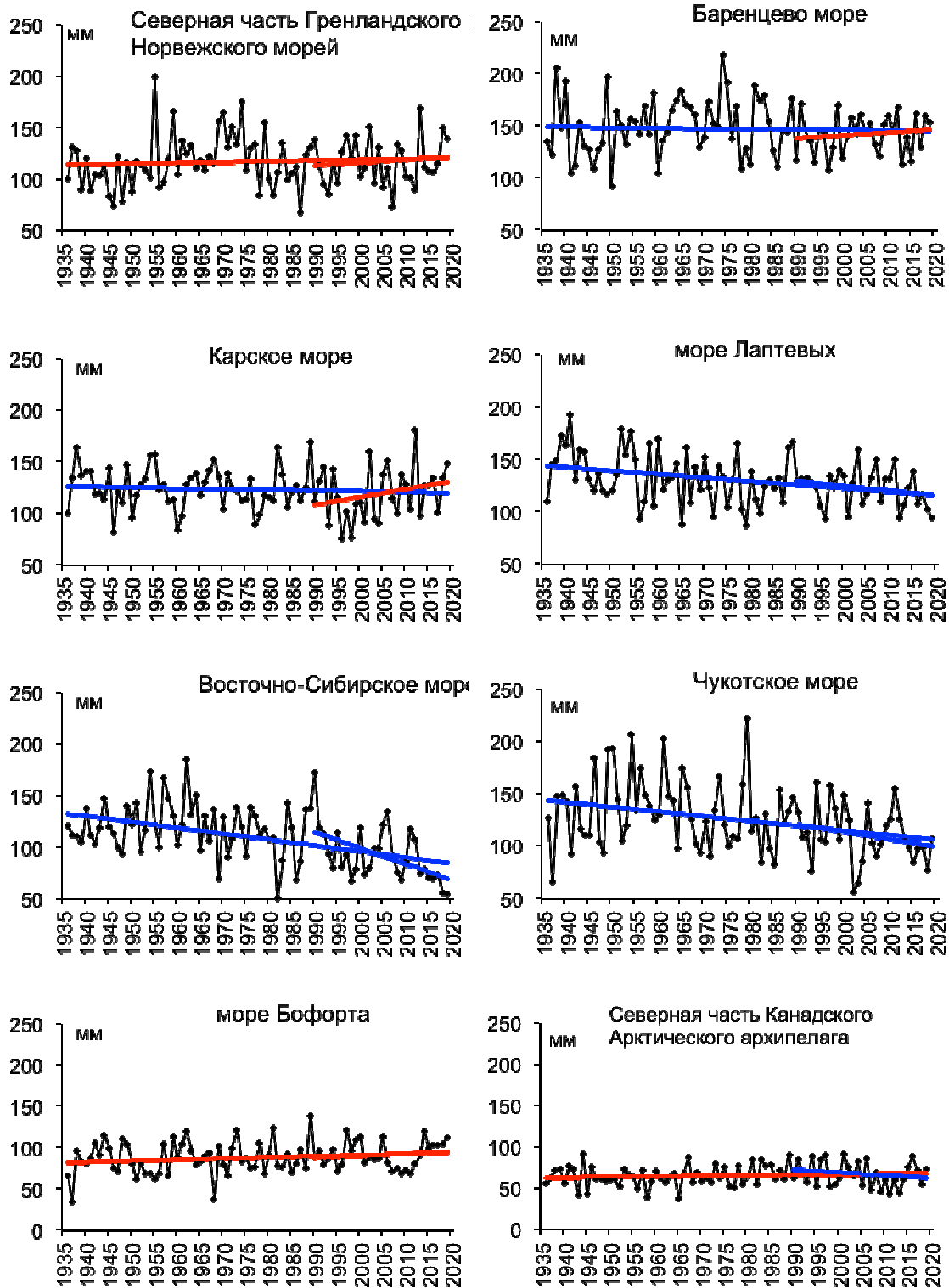


Рис. 1.2.4. Временные ряды сумм осадков за летний сезон над акваториями морей и Канадским архипелагом, мм



Более всего уменьшилось количество выпавших осадков в морях евразийского сектора. Уменьшение сумм осадков составило здесь от 3 (Баренцево море) до 41 (Восточно-Сибирское море) % от нормы.

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

2 Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях в июле-сентябре 2019 года

Оценки особенностей развития ледовых условий в июле-сентябре 2019 г. получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, данным экспедиционных исследований, проводимых в ФГБУ «ААНИИ», и ряде международных проектов.

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

Для иллюстрации ледовых условий в годовом цикле представлены совмещенные региональные карты ААНИИ, Канадской ледовой службы – КЛС и Национального ледового центра США - НЛЦ. Совмещение карт выполнено путем перекрытия слоев (ААНИИ, верхний слой) – (КЛС, средний слой) – (НЛЦ, нижний слой). Как результат, карты ААНИИ характеризуют ледовые условия морей Гренландского...Чукотского, Берингова, Охотского и Балтийского, КЛС - морей Бофорта, Канадского архипелага, Баффина, Девисова пролива, Лабрадор, Св. Лаврентия, а НЛЦ - Арктического Бассейна, Линкольна, южной части Гренландского моря (при этом полный охват карт НЛЦ – вся акватория СЛО и субполярные моря). Для построения совмещенных карт использовался архив данных в формате СИГРИДЗ Мирового центра данных по морскому льду (МЦД МЛ). В пределах отдельного месяца выборка карт из архива проводилась по критериям близости к середине месяца и интервала времени между картами ААНИИ и КЛС-НЛЦ в 1 сутки (день недели выпуска карт ААНИИ – каждая среда, КЛС – каждый вторник, НЛЦ – 1 раз в 2 недели по вторникам). Для цветовой окраски карт в зимний (по возрасту) и летний (по общей сплоченности) периоды использован стандарт ВМО (WMO/Td. 1215). Следует также отметить, что в зонах стыковки карт ААНИИ и КЛС, НЛЦ наблюдается определенная несогласованность границ и характеристик ледовых зон вследствие ряда различий в ледовых информационных системах ААНИИ и КЛС, НЛЦ (КЛС и НЛЦ имеют единую информационную систему в рамках Североамериканской ледовой службы). Однако, данная несогласованность незначительна для целей интерпретации ледовых условий в рамках настоящего обзора. Исходная информация в формате ВМО СИГРИД-3 доступна на сервере МЦД МЛ по адресам <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> (карты ААНИИ), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0031> (карты КЛС), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0032> (карты НЛЦ).

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



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

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

Оценка квантилей распределения общей сплоченности 5% и 50% (медиана) выполнена на основе совмещенного месячного массива ледовых карт проекта ВМО "Глобальный Банк Цифровых Данных по Морскому Льду" за 1945-2004 гг. (включает данные ААНИИ за 1945-1992 гг., Балтийских ледовых служб за 1960-1979 гг., Национального ледового центра США за 1972-2004 гг., Канадской ледовой службы за 1968-1998 гг. и Японского метеорологического агентства за 1970-2006 гг.). Расчет среднемесячных значений общей сплоченности для 2019 г. выполнен на основе массива ежедневных распределений оценки общей сплоченности по алгоритму NASATEAM из архива Национального центра данных США по снегу и льду (<http://nsidc.org>).

На рис. 2.1 показаны границы и положение квазиоднородных районов, по которым проводится описание развития ледовых условий.

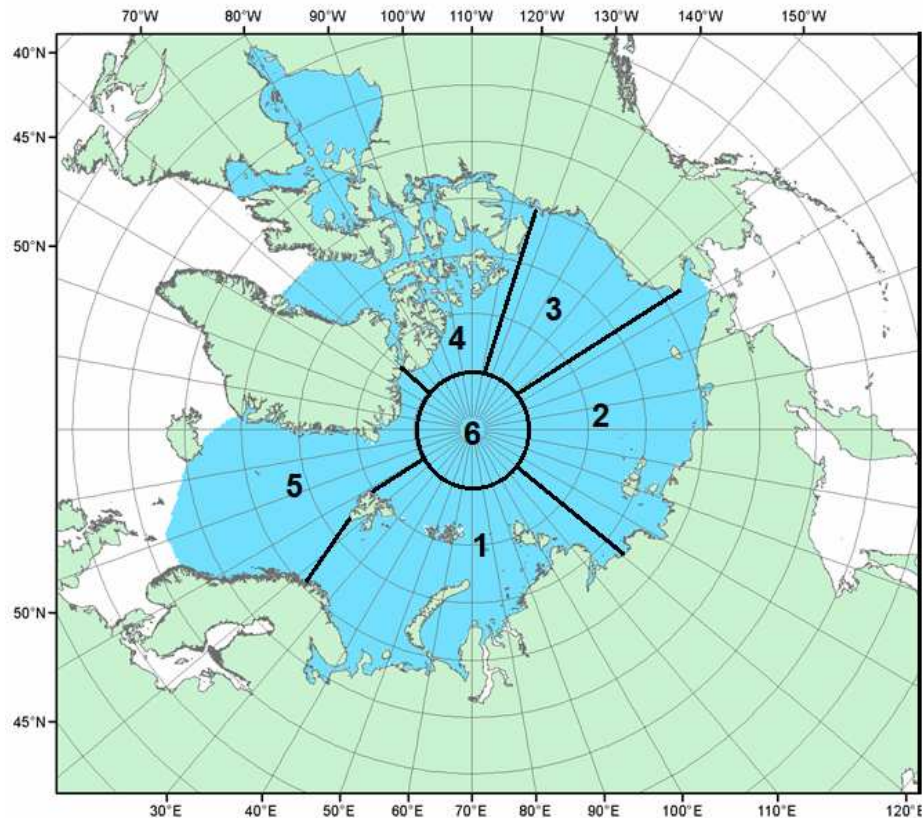


Рис. 2.1. Квазиоднородные районы, выделенные в Северном Ледовитом океане

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

В конце второго квартала 2019 г. наблюдалось быстрое очищение окраинных морей западного и восточного районов российского сектора Арктики – Баренцева, Карского, Лаптевых и Чукотского. В этих морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости, которые составили: в Баренцевом море — 25 %, в юго-западной части Карского — 27 %, в Лаптевых — 23 %, в юго-западной части Чукотского — 28%. Очищение этих морей в первую очередь было связано с интенсивным выносным дрейфом, адвекцией тепла в эти районы и развитием тепловых процессов таяния и разрушения льда.

В возрастном составе льдов в конце июня преобладали однолетние толстые льды. Старые льды занимали не более 30 — 35% акватории океана. Однолетние льды, среди которых преобладали однолетние толстые, составляли около 60 — 65%.

Сформировавшиеся в морях разряжения и полыньи вдоль берегов составляли оставшуюся площадь.

Основными очагами очищения служили акватория северной части Баренцева моря, заприпайный район в море Лаптевых и обширное разряжение вдоль побережья Аляски в море Бофорта и в Чукотском море (рис. 2.2., 2.3).

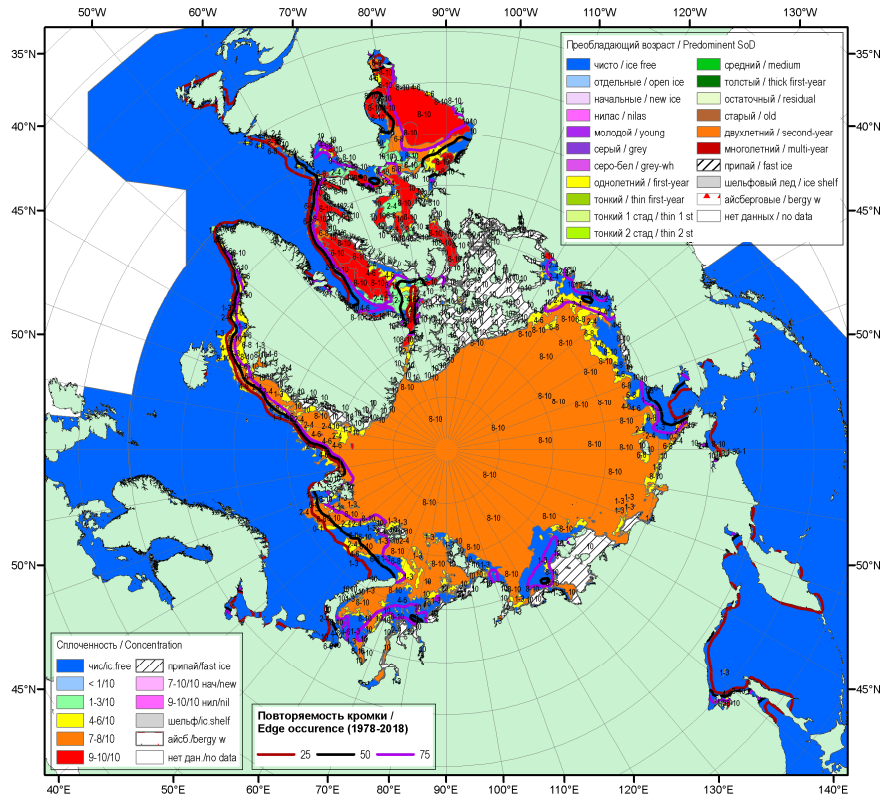


Рис. 2.2. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 20-25.06.2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

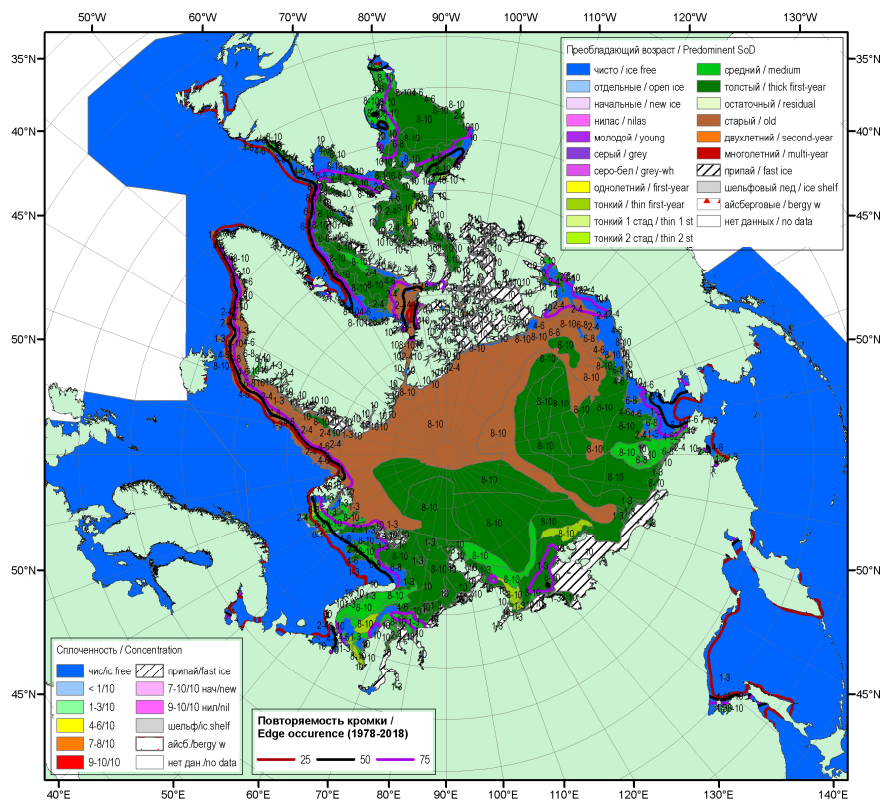


Рис 2.3. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 20-25.06.2019 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛС США

Общее количество льдов в СЛО, по оценкам, выполненным в ААНИИ, составила



10,3 млн. км², что оказалось на –6,0% меньше среднемноголетнего значения по ряду с 1978 — 2019 гг. Отрицательная аномалия ледовитости сформировалась за счет малой ледовитости, наблюдавшейся в секторах 45°W-95°E (Гренландское — Карское моря) и 170°W-45°W (море Бофорта и Канадская Арктика).

На таком благоприятном фоне, который сформировался в начале летнего периода и особенно хорошо проявился в окраинных морях российского сектора Арктики, продолжили развиваться летние процессы.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период июль — сентябрь 2019 г. приведены на рисунках 2.4—2.12.

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

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

Сохранялся интенсивный вынос льдов из СЛО через пролив Фрама и далее вдоль побережья Гренландии, о чем свидетельствует большая ширина ледового потока, превышающая среднемноголетнюю ширину потока (рис. 2.4).

В возрастном составе льда наблюдалось дальнейшее сокращение количества однолетних толстых льдов в окраинных морях. Одновременно наблюдался интенсивный вынос старых льдов в пролив Фрама. Небольшие локальные полосы и пятна старых льдов сохранялись в морях Восточно-Сибирском и Бофорта. В море Бофорта наблюдалось аномально большое отступление дрейфующих льдов на север от побережья и очищение прибрежной части моря (рис. 2.5).

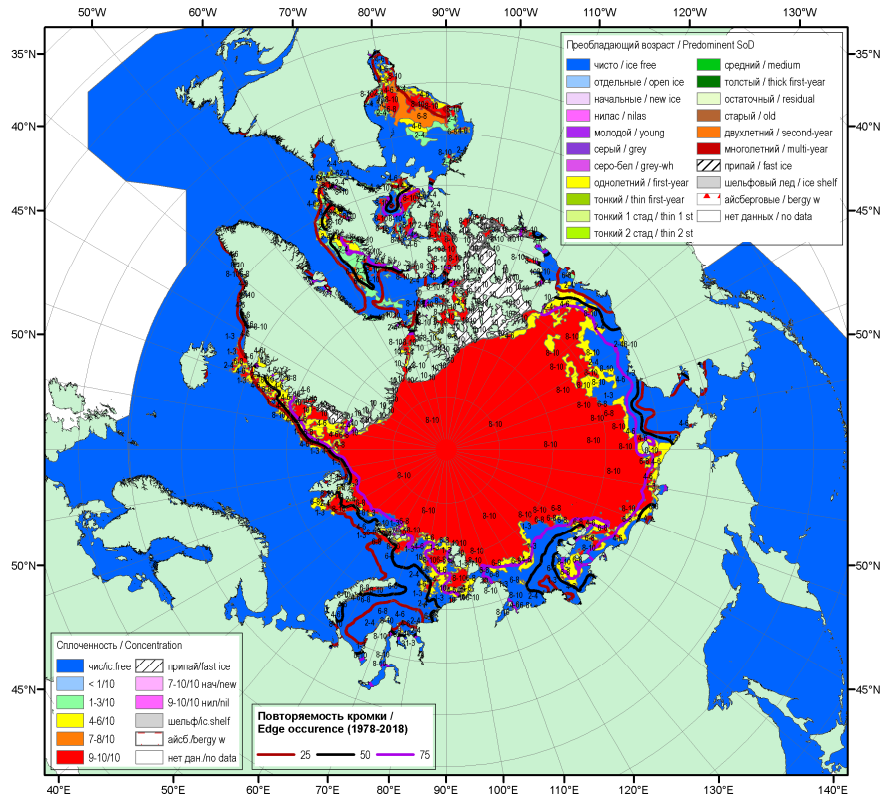


Рис. 2.4. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 18—23.07.2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

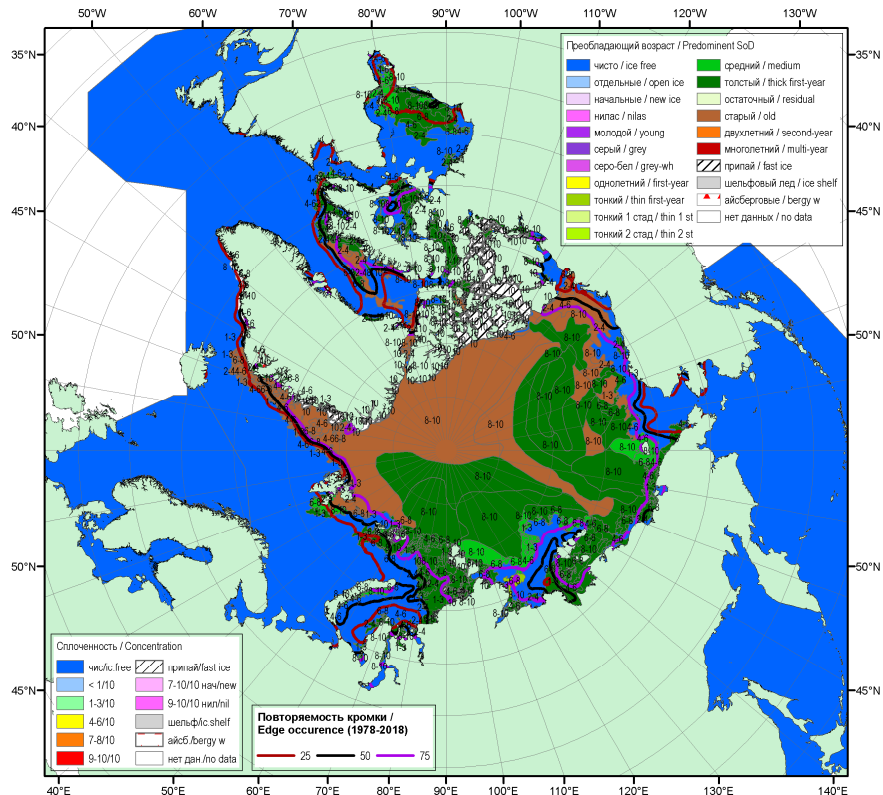


Рис. 2.5. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 18—23.07.2019 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛС США

Среднемесячное поле дрейфа ледяного покрова приведено на рис. 2.6. В поле дрейфа льда наблюдалось формирование необычной картины. Вместо выраженных

основных структур дрейфа – Трансарктического переноса льда и Канадского антициклонического круговорота, в поле дрейфа сформировался хорошо выраженный перенос льда по направлению от моря Бофорта через приполюсный район на запад, к северной части Карского моря. Крупный трансарктический перенос льда, который сформировался практически по всей акваторией СЛО с востока на запад, обусловил перенос льдов из морей Чукотского и Бофорта в моря западного района российского сектора Арктики (рис. 2.6).

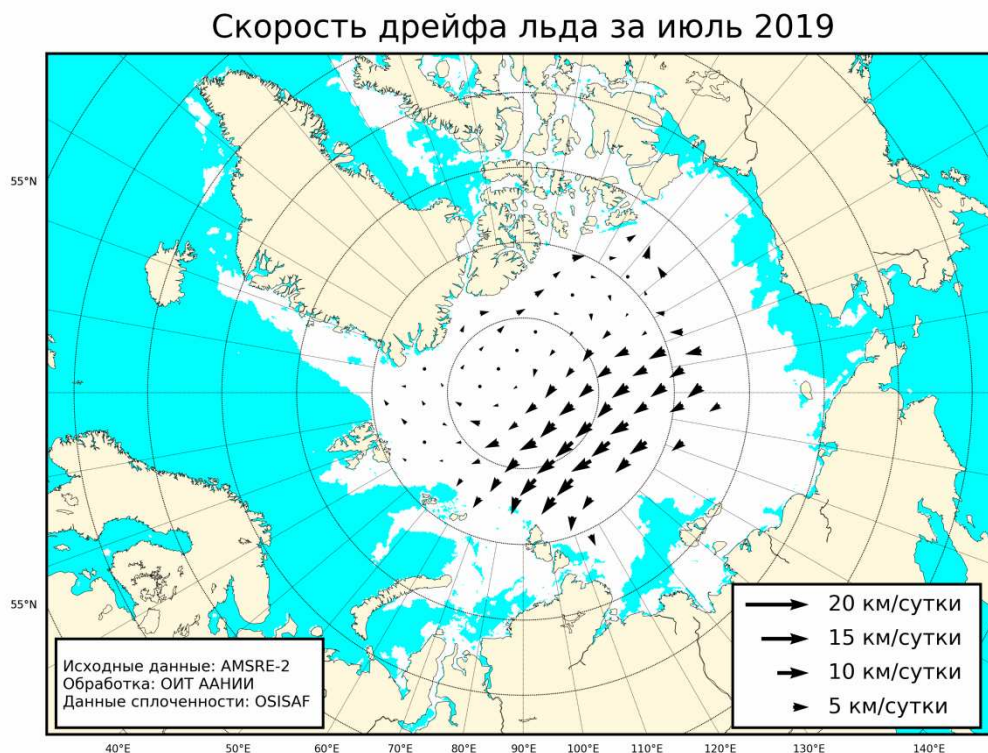


Рис. 2.6. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в июле 2019 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне

В течение августа продолжалось интенсивное сокращение ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и его морях. Уменьшение ледовитости происходило в основном за счет разрушения льда во всех окраинных арктических морях российского сектора Арктики, в том числе оно активно началось и в Восточно-Сибирского моря, и в море Бофорта. Большая часть всех окраинных арктических морей российского сектора Арктики, за исключением Восточно-Сибирского моря практически полностью очистилась ото льда. В Восточно-Сибирском море сохранялась обширная зона редких и разреженных льдов с отдельными пятнами сплоченных льдов. Во всех морях сформировались крупные отрицательные аномалии ледовитости, составляющая от -25 до -55% . Граница отступления дрейфующих льдов на север в морях Карском, Лаптевых, Чукотском и Бофорта в августе 2019 г. была аномально высокой. Весь массив льдов оказался

смещенным в западную часть СЛО. Полностью разрушился припай в районе островов Канадского арктического архипелага (рис. 2.7).

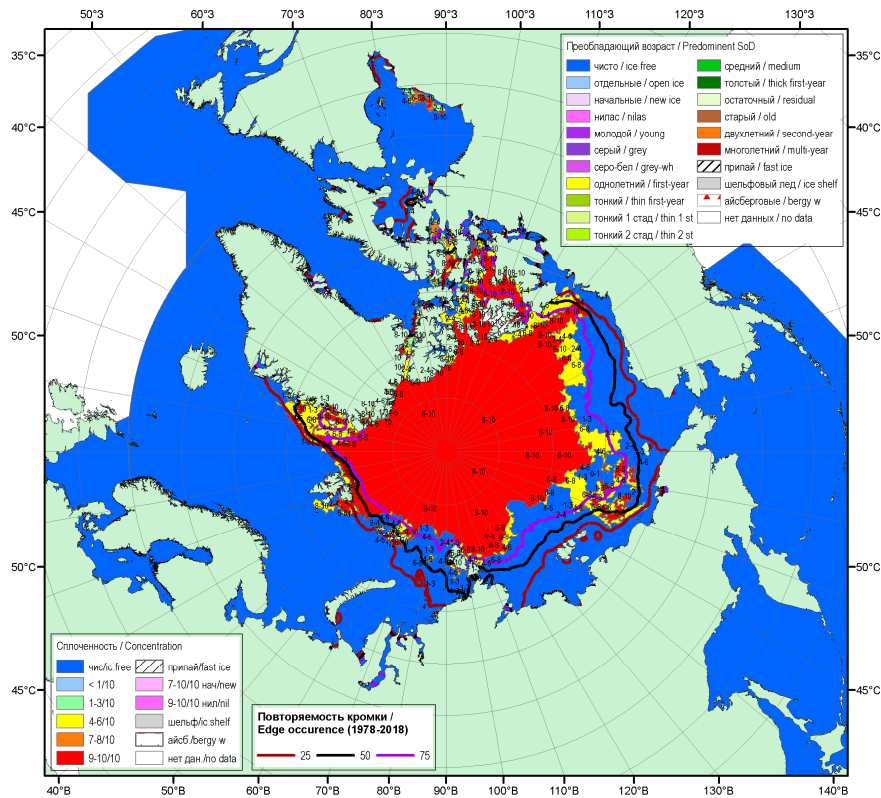


Рис. 2.7. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 15–20.08.2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

Возрастной состав льдов в СЛО и его морях сохранился. Старые льды наблюдались в Гренландском и Канадском секторах Арктики и в части приполюсного района. Оставшиеся льды представляли собой однолетние толстые льды различной разрушенности (рис. 2.8).

В августе, в поле дрейфа льда произошли существенные изменения. Традиционных структур дрейфа в СЛО не наблюдалось. Разрушился трансарктический перенос льдов с востока на запад, наблюдавшийся в июле. Вместо него сформировался необычный для СЛО слабо выраженный циклонический вихрь с центром над приполюсным районом.

Циклонический круговорот выносил льды из северных частей российских арктических морей и приносил их к островам Канадского Арктического архипелага и далее вдоль него в пролив Фрама. Скорость дрейфа льдов была очень невелика (рис. 2.9).

Общая ледовитость СЛО в августе была значительно меньше среднемноголетнего значения по длинному ряду наблюдений (с 1978 — 2018 гг.), и меньше среднего значения ледовитости за последнее 10-летие (с 2000 — 2018 гг.). Но в секторе $45^{\circ}\text{W}-95^{\circ}\text{E}$ (Гренландское — Карское моря) ледовитость оказалась близка к норме, за счет общего

смещения массива льдов в западную часть СЛО, к островам архипелагов ЗФИ и Шпицберген (рис. 2.14 а, г).

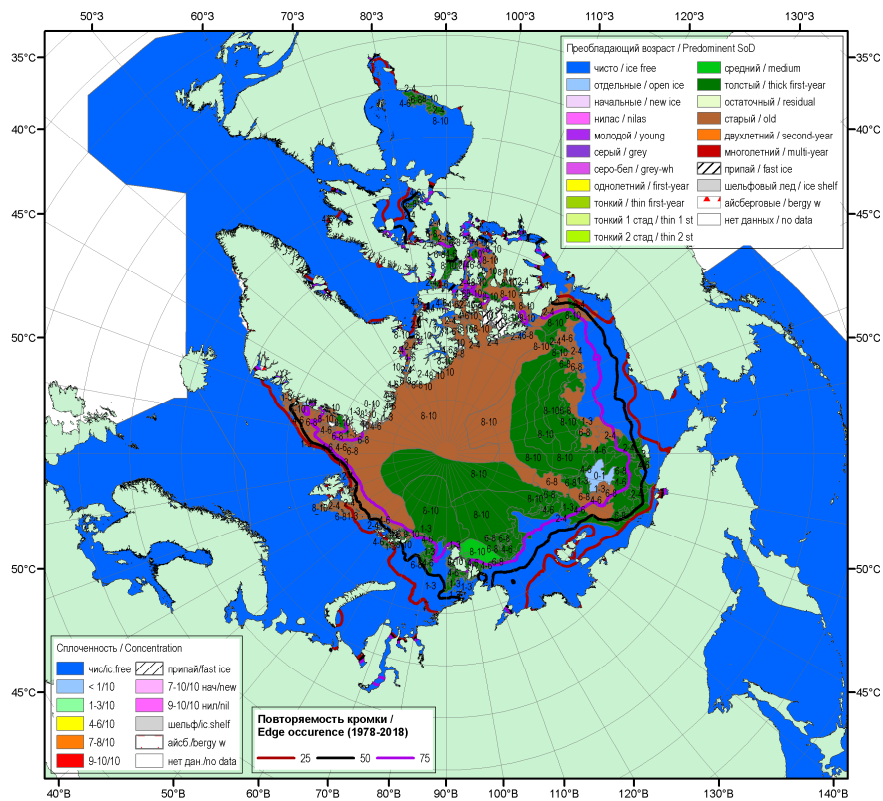


Рис. 2.8. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 15–20.08.2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

Скорость дрейфа льда за август 2019

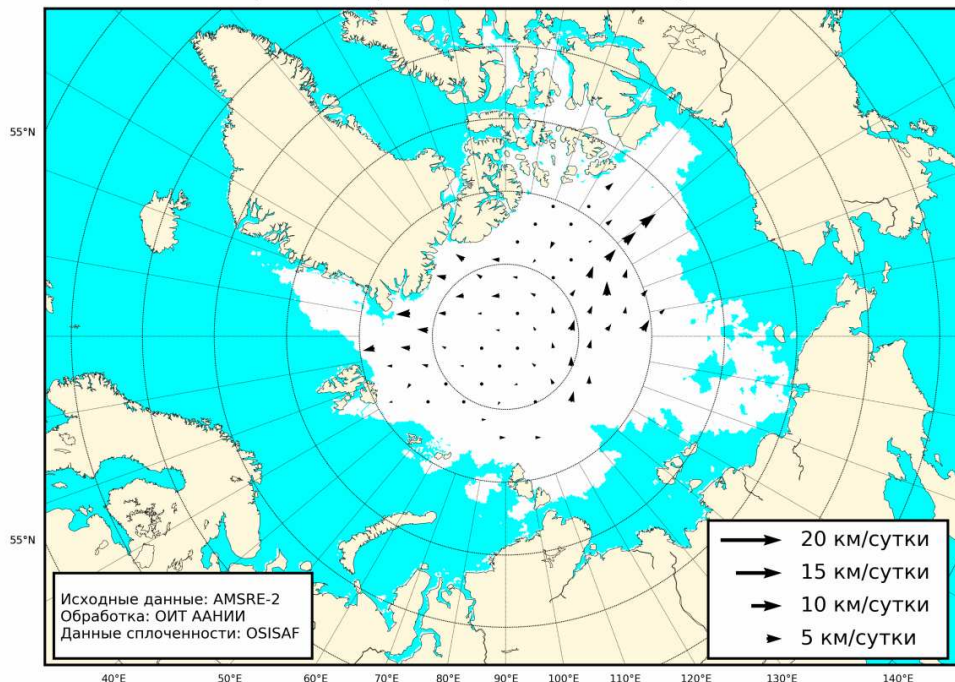


Рис. 2.9. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в августе 2019 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне

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

В середине сентября в прикромочной зоне на чистой воде по широкому фронту от моря Баренцева до Бофорта началось ледообразование, что в среднем на 10-20 суток позже среднемноголетних сроков. Ледообразование развивалось крайне медленно. До конца сентября ширина полосы начальных и молодых льдов не превышала 50-100 км. Начальные и молодые льды наблюдались непосредственно в прикромочной зоне остаточных льдов в районе широты 80 °с.ш. Таким образом, характерной чертой осеннего ледообразования 2019 г является его позднее начало и медленное развитие.

Основная масса льдов, сохранившихся после периода летнего таяния в Северном Ледовитом океане, была смещена в западную часть океана и наблюдалась в приполюсном районе, гренландском и канадском секторах СЛО (рис. 2.10).

В сентябре 2019 г. был в обновлен минимум положения границы остаточных льдов в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Бофорта.

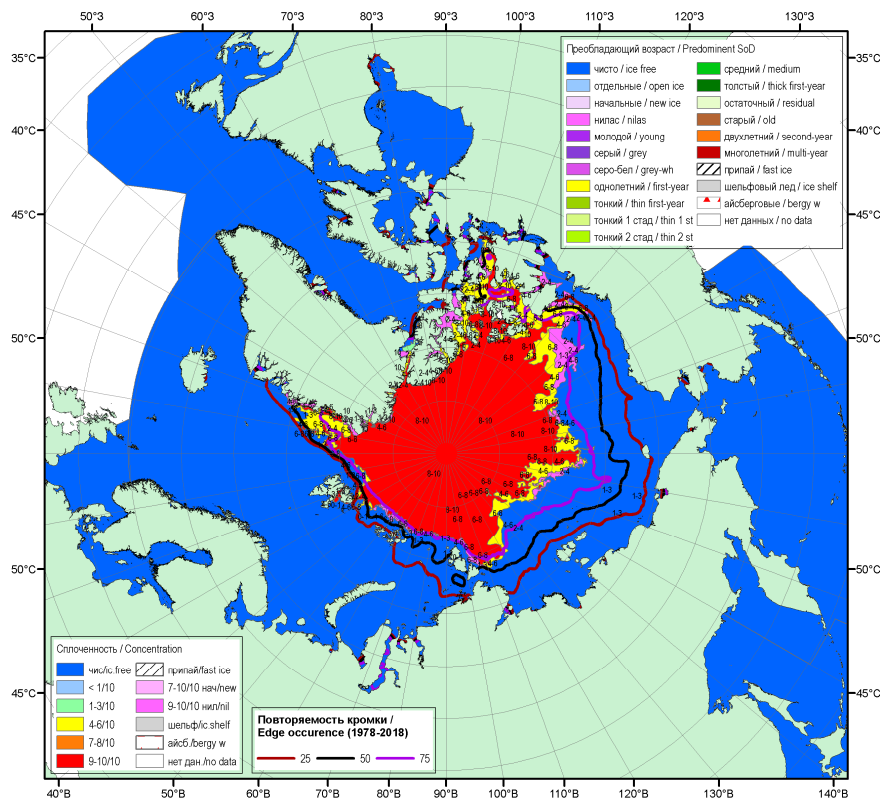


Рис. 2.10. Обзорная ледовая карта СЛО по сплоченности за 17–19.09.2019 г., составленная на основе ледового анализа ААНИИ, КЛС и НЛС США

Дрейф ледяного покрова приведен на рисунке 2.11. В сентябре сформировалась классическая схема дрейфа. Наблюдался хорошо развитый Трансарктический перенос,

который начинался к северу от моря Лаптевых и через приполюсный район выносил льды к побережью Гренландии и далее в пролив Фрама.

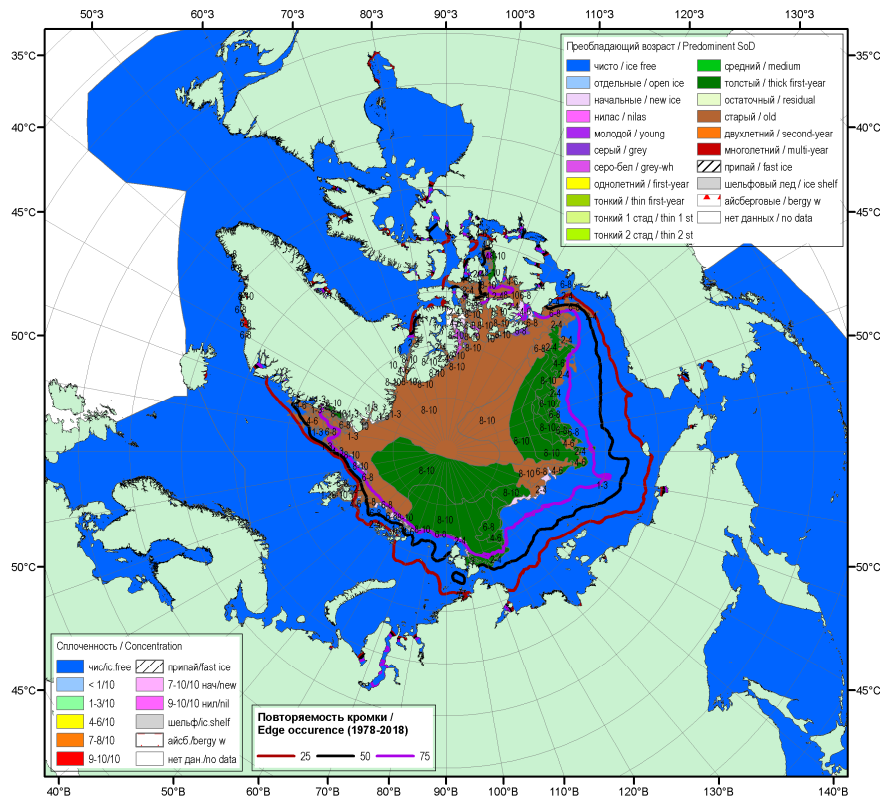


Рис. 2.11. Обзорная ледовая карта СЛО по возрасту за 17–19.09.2019 г., составленная на основе ледового анализа КЛС и НЛС США

Также наблюдался частично развитый Канадский антициклонический круговорот, у которого вследствие отсутствия льда в морях Чукотском и Бофорта, в дрейфе льда участвовала только одна ветвь, выносящая льды к островам Канадского Арктического архипелага (рис. 2.12).

Скорость дрейфа льда за сентябрь 2019

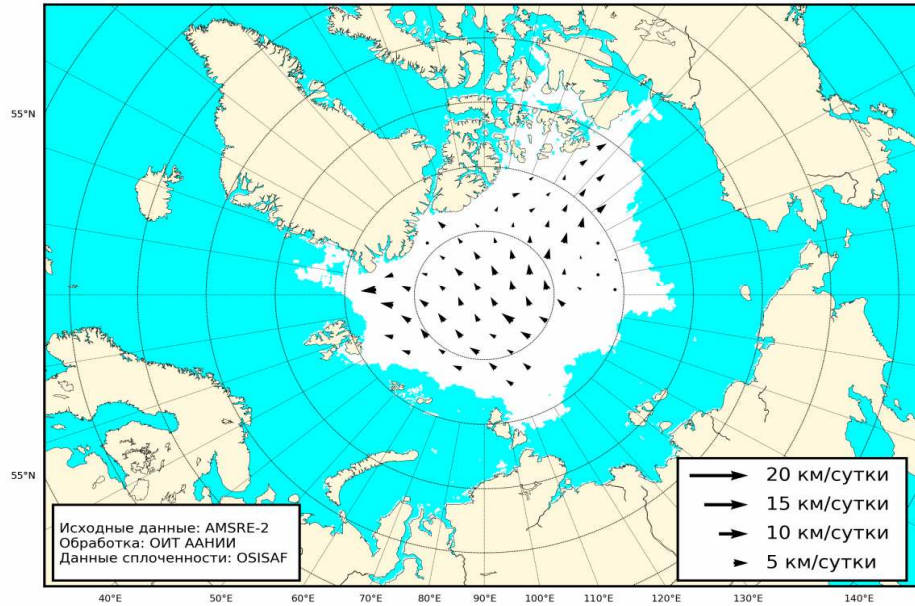


Рис. 2.12. Поле скорости фактического дрейфа морского льда в сентябре 2019 г., восстановленное на основе корреляционного анализа спутниковых изображений льда в микроволновом диапазоне

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

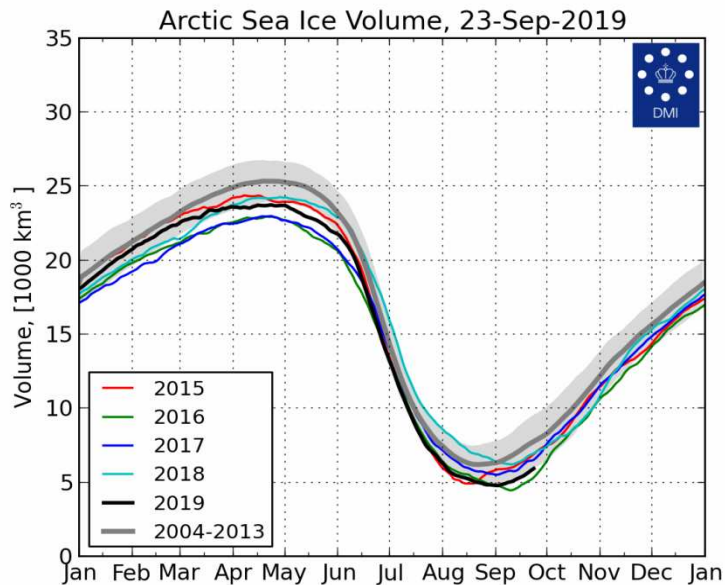


Рис. 2.13. Ежедневные оценки сезонного хода объема морского льда в СЛО на основе расчетов средневзвешенной толщины льда совместной модели морского льда – океана НУСОМ/СІСЕ Датского метеорологического института с 01.01.2004 по 23.09.2019 гг.

По оценкам, выполненным в ААНИИ, общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в середине сентября 2019 г. составила 4,24 млн. км² при норме 6,1 млн. км², что на 30%



меньше среднемноголетних значений. Значения общей ледовитости в СЛО оказались на 1,84 млн. км² меньше средних значений ледовитости за весь ряд наблюдений (с 1978 — 2019 гг.). По площади остаточного льда 2019 г. стал третьим по рангу минимумов в группе легких лет.

Данные по ледовитости Северного Ледовитого океана и его секторов на середину сентября, а также сравнение с ледовитостью ряда лет, начиная с 2014 г., приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Значения ледовитости за 16–22 сентября 2018 г. и её аномалии от значений периодов 2009-2019 гг. и 1978-2018 гг. по данным наблюдений SSMR-SSM/I-SSMIS

Северный Ледовитый океан								
Месяц, день	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2009-2018 гг	1978-2018 гг
16-22.09	4123,9	-893,0	-373,8	-267,5	-585,1	-411,7	-426,4	-1841,8
		-17,8	-8,3	-6,1	-12,4	-9,1	-9,4	-30,9
Сектор 45°W-95°E (Гренландское - Карское моря)								
Месяц	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2009-2019 гг	1978-2019 гг
16-22.09	1155,5	-226,6	-93,3	13,8	81,0	165,8	-1,7	-270,4
		-16,4	-7,5	1,2	7,5	16,8	-0,2	-19,0
Сектор 95°E-170°W (моря Лаптевых - Чукотское, Берингово, Охотское)								
Месяц	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2009-2019 гг	1978-2019 гг
16-22.09	1033,8	-198,0	-160,8	-291,7	-487,6	-139,0	-246,2	-922,5
		-16,1	-13,5	-22,0	-32,1	-11,8	-19,2	-47,2
Сектор 170°W-45°W (море Бофорта и Канадская Арктика)								
Месяц	S, тыс. км ²	Аномалии, тыс. км ² /%						
		2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2009-2019 гг	1978-2019 гг
16-22.09	2000,5	-466,7	-125,7	13,0	-173,5	-432,8	-177,9	-659,1
		-18,9	-5,9	0,7	-8,0	-17,8	-8,2	-24,8

На рисунке 2.14 приведены ежедневные оценки сезонного хода ледовитости для Северного Ледовитого океана и его отдельных секторов за период с 26.10.1978 по 29.09.2019 гг. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM. Ход общей ледовитости показывает, что практически весь летний период количество льда по СЛО в целом было меньше среднемноголетнего значения (нормы за 1978 — 2018 гг.), и очень близко приближалась к экстремально малым значениям, которые наблюдались в 2012 и 2016 гг. Малая ледовитость СЛО в 2019 г. в основном была обусловлена малой ледовитостью двух секторов Арктики — сектором 95°E — 170°W (моря Лаптевых — Чукотское и Берингово, Охотское) и сектором 170°W-45°W (море Бофорта и Канадская Арктика). В отличие от малой ледовитости, наблюдаемой в этих секторах, в секторе 45°W — 95°E (Гренландское — Карское моря) ледовитость было достаточно высокой в зимний, весенний и летние периоды.

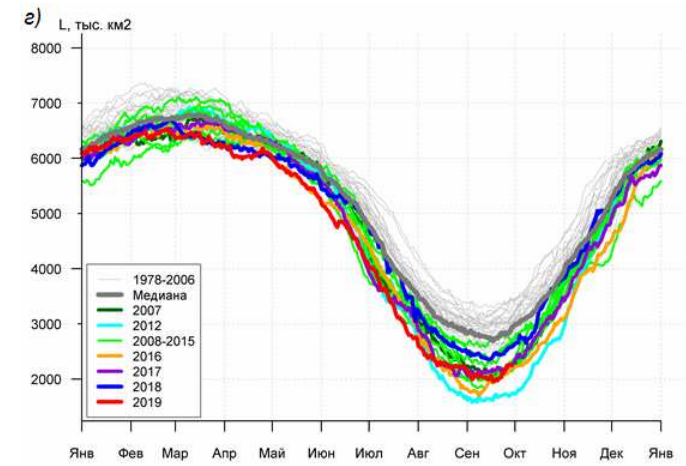
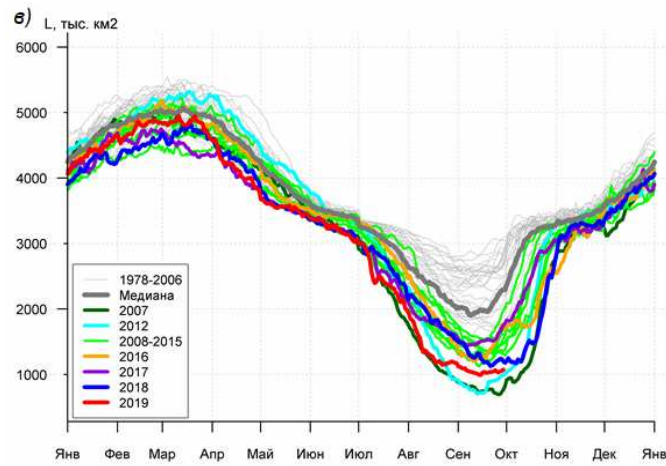
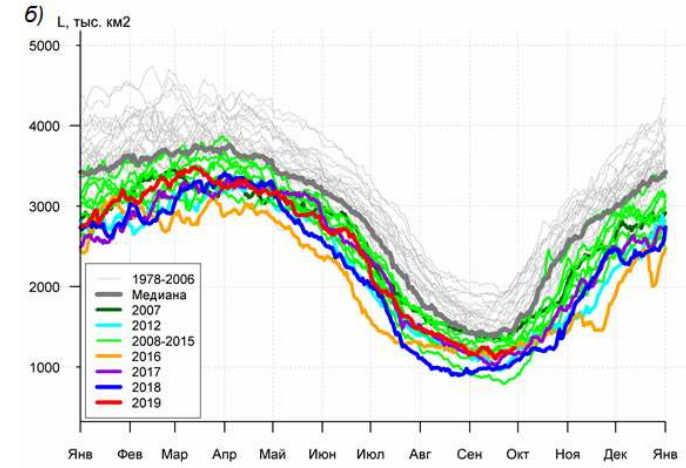
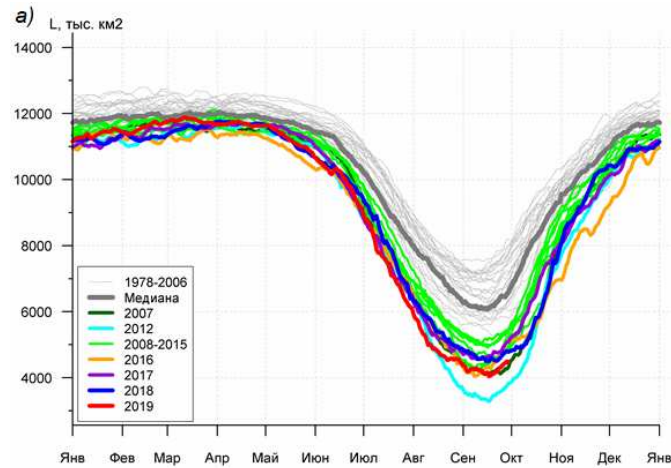


Рис.2.13. Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости: а) - для Северного Ледовитого океана и меридиональных секторов б) - 45°W-95°E (Гренландское – Карское моря), в) - 95°E-170°W (моря Лаптевых – Чукотское и Берингово, Охотское) и г) - 170°W-45°W (море Бофорта и Канадская Арктика) за период 26.10.1978 -29.09.2019 гг. по годам на основе расчетов по данным SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм

NASATEAM



3. Гидрологические и гидрохимические условия Северного Ледовитого океана и его морей в 2019 г.

3.1. Термохалинные условия

Анализ термохалинного состояния вод Северного Ледовитого океана (СЛО) в третьем квартале 2019 г. выполнен на основании данных (таб. 3.1.1) автономных дрейфующих комплексов ИТР (Ice-Tethered Profiler), оснащенных профилографами, обеспечивающим непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760-метрового слоя вод (рис. 3.1.1), и данных, полученных в экспедиции «Трансарктика – 2019. Этап 4» на НИС «Профессор Мультановский» (рис. 3.1.2).

Таблица 3.1.1

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

№ п/п	Экспедиция	Дата первой и последней станций		Число станций
1	ИТР 103	01.07.2019	15.09.2019	1157
1	ИТР 104	01.07.2019	29.08.2019	1133
2	ИТР 105	01.07.2019	29.08.2019	1132
3	ИТР 107	01.07.2019	14.09.2019	152
4	ИТР 110	01.07.2019	06.08.2019	73
4	ИТР 116	22.08.2019	14.09.2019	93
5	«Трансарктика – 2019. Этап 4» на НИС «Профессор Мультановский»	15.08.2019	06.10.2019	261

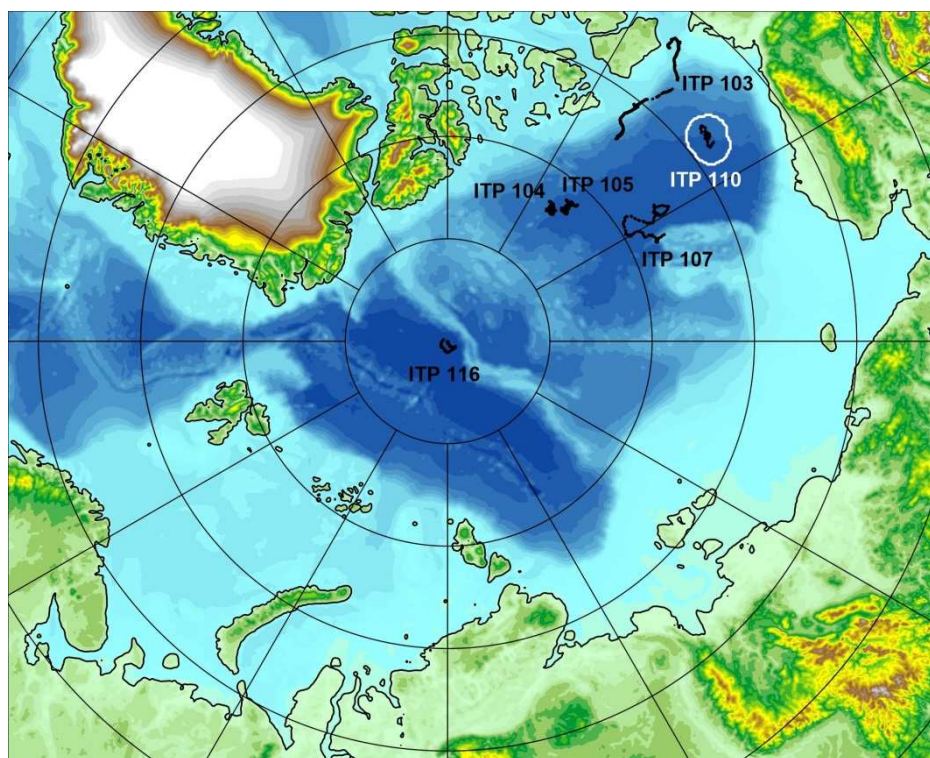


Рис. 3.1.1 – Положение океанографических станций, выполненных на акватории СЛО в третьем квартале 2019 г. и занесенных в БД термохалинных характеристик отдела океанологии АНИИ

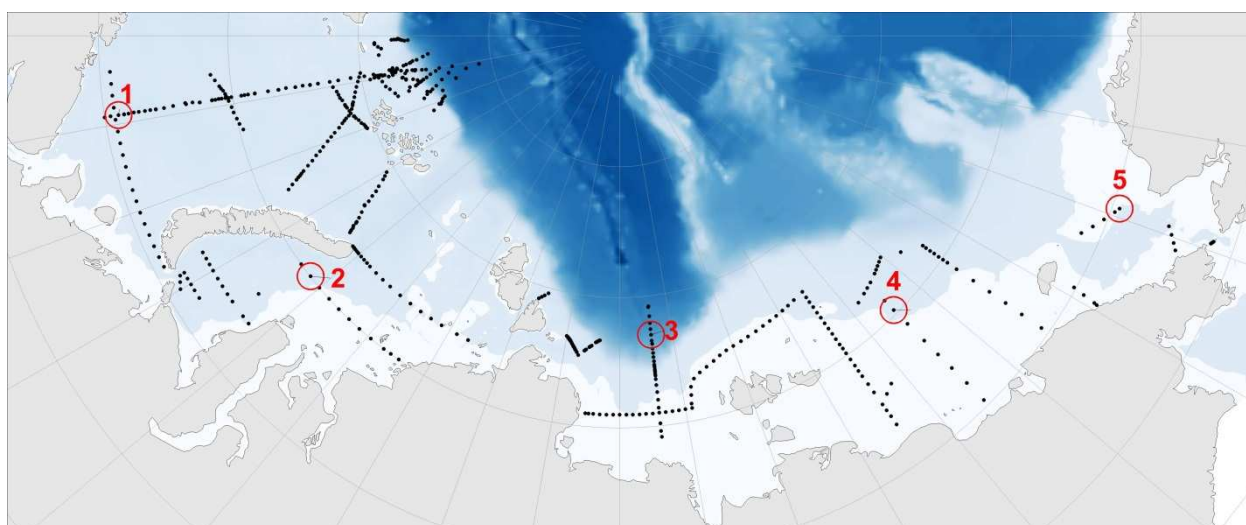


Рис. 3.1.2 – Положение океанографических станций, выполненных в арктических морях в 2019 г. в 1 и 4 этапах экспедиции «Трансарктика». Красными кружками отмечены районы поиска исторических данных для последующего сравнения с данными 2019 г.

Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для изучения особенностей термохалинной структуры СЛО в третьем квартале 2019 г. в Арктическом бассейне был осуществлен анализ вертикального распределения значений температуры и солености в предварительно выделенной группе океанографических станций. В качестве таковой использовались данные ИТР 110 в Канадской глубоководной котловине (рис. 3.1.1). При дальнейшем анализе полученные



статистические характеристики сравнивались с климатическими средними и их стандартными отклонениями. Для изучения особенностей термохалинной структуры в арктических морях в каждом море было выделено по одной океанологической станции, вокруг которой с радиусом 50 км производился поиск исторических данных (рис. 3.1.2).

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

Амеразийский суббассейн

В третьем квартале 2019 г. распределение термохалинных характеристик по глубине в юго-восточной части Канадской глубоководной котловины по данным ИТР 110 соответствовало тенденциям, наблюдающимся на протяжении последних нескольких лет. Поверхностный слой по-прежнему демонстрирует существенное распреснение (26,43 ‰) в сравнении с климатической нормой (29,38 ‰). Значение отрицательной аномалии поверхностной солености составило -3 ‰ (рис. 3.1.3). В аналогичный период 2018 г. аномалия поверхностной солености составила $-2,3$ ‰. Температура верхнего перемешанного слоя ($-0,12$ °C) превышала климатическое среднее ($-0,93$ °C).

Под верхним перемешанным слоем глубже 45 м расположен слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), который является характерной особенностью Амеразийского суббассейна СЛО. Для этого слоя характерно наличие промежуточного максимума температуры воды в слое с соленостью от 31 до 33 ‰. Максимальное значение температуры слоя ЛТВ по данным ИТР 110 составило $0,13$ °C, превышая климатическую норму на $1,5$ °C. В 2018 г. аномалия температуры составила $1,0$ °C.

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

На глубинах от 200 до 230 м в Канадской глубоководной котловине залегают так называемые зимние тихоокеанские воды, затекающие через Берингов пролив и смешивающиеся с водами Чукотского моря в холодный период. Эти воды в Арктическом бассейне характеризуются низкими значениями температуры и соленостью равной 33,1 ‰, наблюдаемой в ядре данной прослойки. Характерной особенностью последних лет является заглубление ядра зимних тихоокеанских вод. По данным ИТР 110 ядро холодных тихоокеанских вод залегало на глубине 230 м, в то время как по климатическим средним ядро наблюдалось на 150 м.

Глубже 230 м в Канадской глубоководной котловине наблюдается постепенное повышение температуры воды, обусловленное теплоотдачей атлантической водной массы (АВ). Верхняя граница слоя данной прослойки ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) по данным третьего квартала 2019 года располагалась на глубине 340 м (в 2018 г. — 300 м; в 2017 г. — 310 м). Максимальное значение температуры воды в ядре АВ составило $0,72\text{ }^{\circ}\text{C}$ (510 м глубины), что на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше климатической нормы. Полученные оценки аномалий температуры АВ в 2019 г. на $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше предшествующего 2018 г.

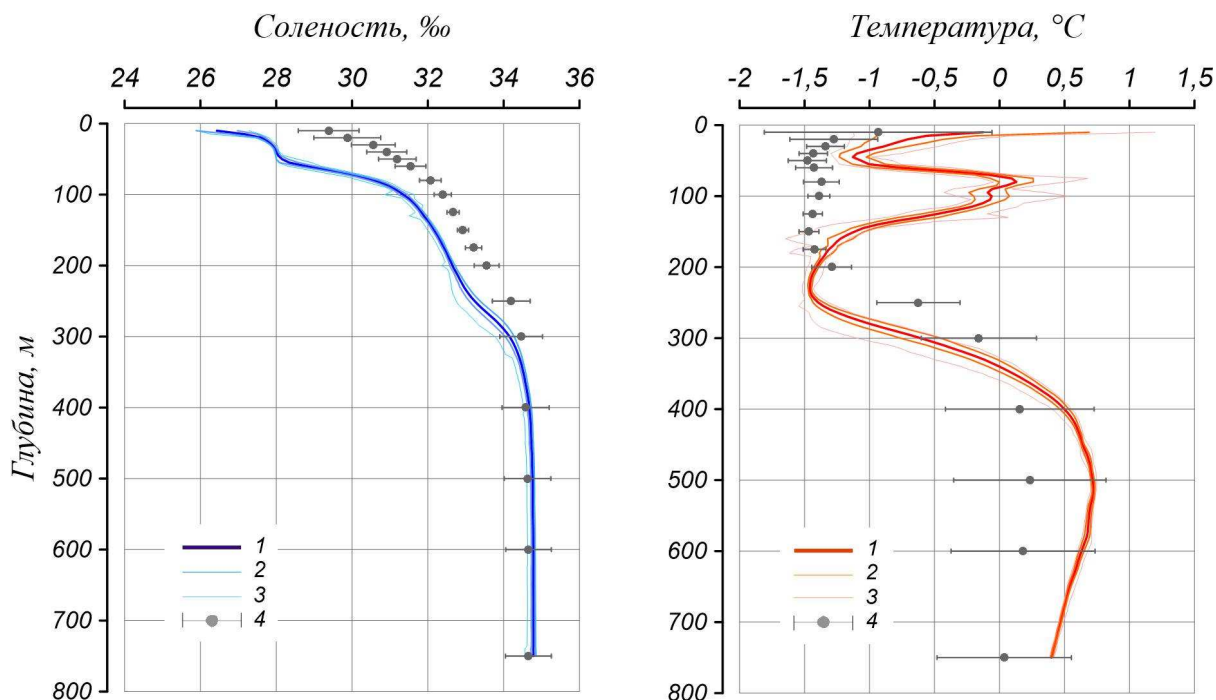


Рис. 3.1.3 — Вертикальное распределение солености и температуры воды в Канадской глубоководной котловине в июле-августе 2019 г. по результатам измерений профилографа ИТР 110

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

Карское море

Район № 2 расположен в центральной части Карского моря на границе шельфовой зоны и Новоземельского желоба. В августе значение солености поверхностного слоя было на 1 ‰ ниже нормы и находилось внутри диапазона стандартного отклонения, который чрезвычайно широк (6,64) для этого района вследствие расположения на границе зоны распространения речного стока (рис. 3.1.4). Поверхностная температура воды ($6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) превышала климатическое среднее почти на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Максимальная положительная аномалия воды была зафиксирована на глубине 15 — 20 м и составила $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В глубоководной

части разреза от глубин 70 м и ниже также наблюдалась положительная аномалия (1,5 °С) температуры воды.

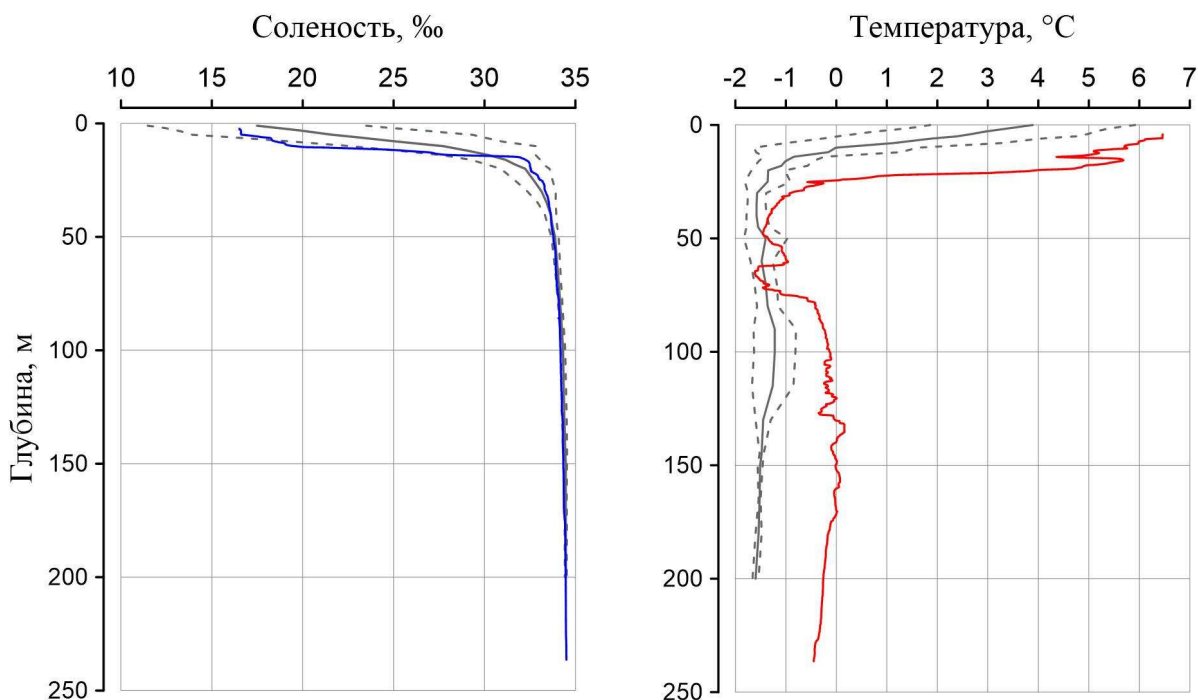


Рис. 3.1.4 – Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Карском море в районе №2 в августе. Цветными кривыми показаны значения, полученные экспедицией «Трансарктика — 2019. Этап 4»

Серыми сплошной и пунктирными кривыми показаны средние значения и диапазон стандартных отклонений, рассчитанные в период с 1950 по 2000 гг.

Море Лаптевых

Район № 3 расположен в северной части моря Лаптевых в месте распространения основной струи теплой атлантической водной массы, распространяющейся вдоль континентального склона российских арктических морей. В сентябре 2019 г. значение поверхностной температуры (1,1 °С) превышало климатическое среднее на 1,5 °С (рис. 3.1.5). Наибольшее значение температуры атлантической водной массы (1,95 °С) было зафиксировано на глубине 280 м, превышая норму на 0,6 °С, что соответствует оценкам, получаемым на протяжении последних нескольких лет. Также стоит отметить, что нижняя граница АВ в 2019 г. залегала на 200 м глубже по сравнению с историческими данными.

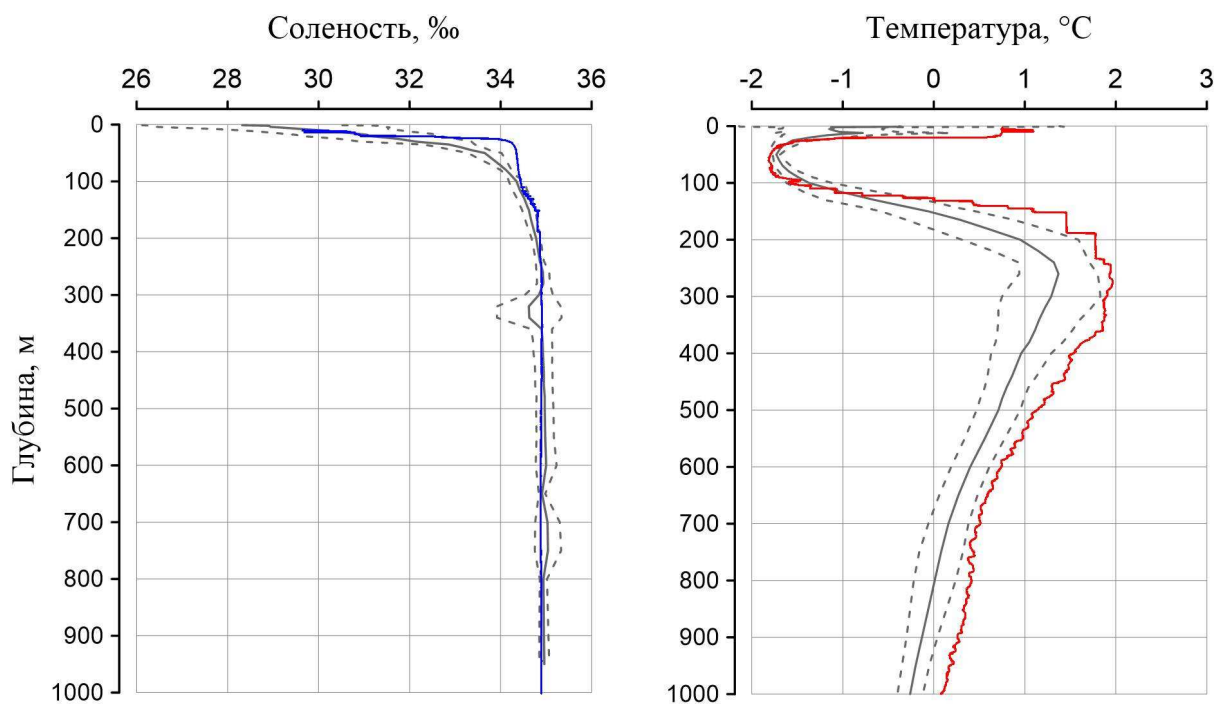


Рис. 3.1.5 — Вертикальное распределение солёности и температуры воды в море Лаптевых в районе №3 в сентябре. Цветными кривыми показаны значения, полученные экспедицией «Трансарктика — 2019. Этап 4»

Серыми сплошной и пунктирными кривыми показаны средние значения и диапазон стандартных отклонений, рассчитанные в период с 1950 по 2000 гг.

Восточно-Сибирское море

Район № 4 расположен в центральной части Восточно-Сибирского моря. В сентябре 2019 г. на всем диапазоне глубин температура воды превышала климатическую норму и лежало за пределами стандартного отклонения (рис. 3.1.6). Максимальное значение температуры воды было зафиксировано в поверхностном слое (0,2 °С) и превышало климатическое среднее на 1,4 °С.

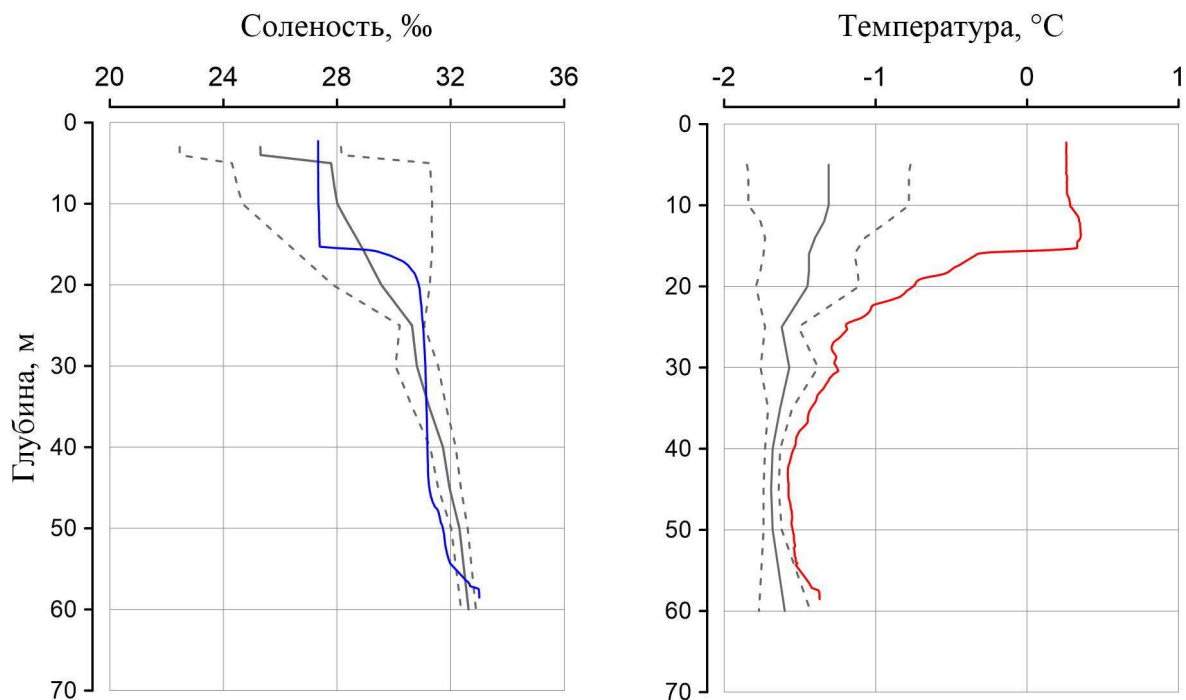


Рис. 3.1.6 — Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Восточно-Сибирском море в районе №4 в сентябре. Цветными кривыми показаны значения, полученные экспедицией «Трансарктика — 2019. Этап 4»

Серыми сплошной и пунктирными кривыми показаны средние значения и диапазон стандартных отклонений, рассчитанные в период с 1950 по 2000 гг.

Чукотское море

Район № 5 расположен в центральной части Чукотского моря. В августе 2019 г. температура воды поверхностного слоя составила 9,8 °С, превышая климатическую норму на 4,1 °С (рис. 3.1.7). Максимальная положительная аномалия температуры воды была зафиксирована на глубине 25 м и составила 5,2 °С. В свою очередь значения солёности на всем диапазоне глубин демонстрировали наличие отрицательной аномалии в диапазоне от 0,1 до 1,2 ‰.

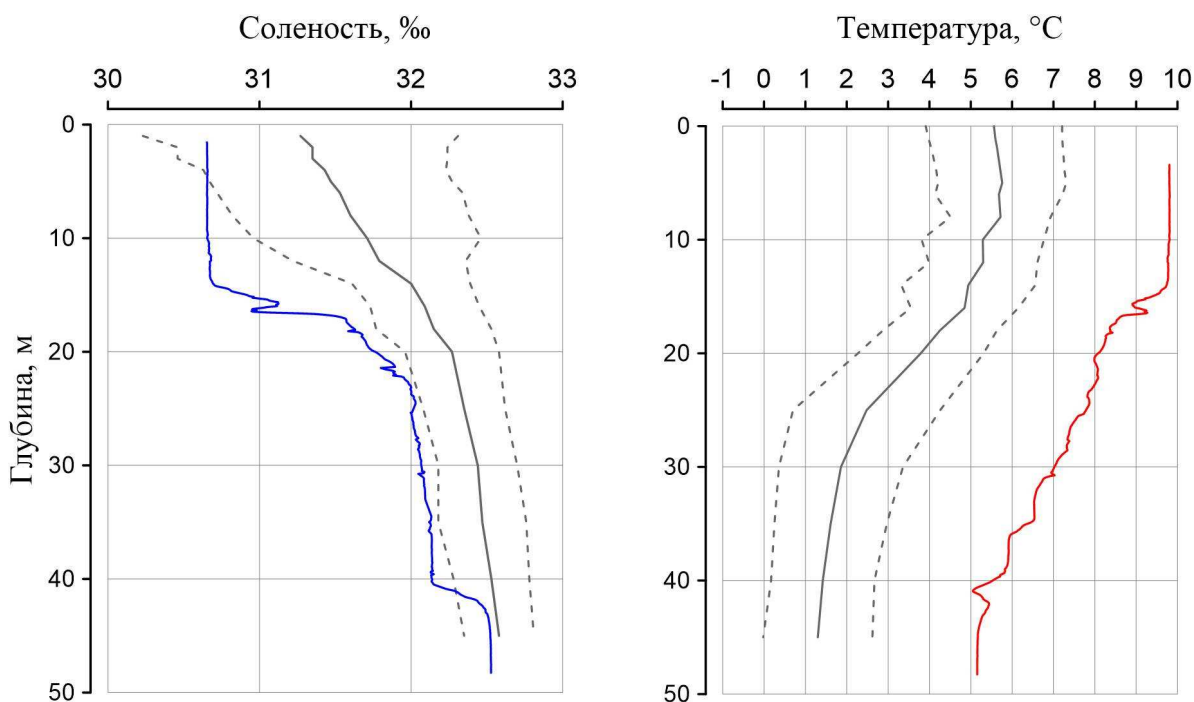


Рис. 3.1.7 — Вертикальное распределение солёности и температуры воды в Чукотском море в районе №5 в августе. Цветными кривыми показаны значения, полученные экспедицией «Трансарктика — 2019. Этап 4»

Серыми сплошной и пунктирными кривыми показаны средние значения и диапазон стандартных отклонений, рассчитанные в период с 1950 по 2000 гг.

Основные выводы

Согласно результатам наблюдений, выполненных в третьем квартале 2019 г., гидрологический режим глубоководной части СЛО (юго-восточный район Канадской глубоководной котловины) продолжает характеризоваться аномальным состоянием по отношению к климатическому среднему. Распределение поверхностной солёности характеризуется наличием выраженной отрицательной аномалии (-3‰) в Амеразийском суббассейне. Сохраняется положительная аномалия температуры ядра атлантических вод (АВ), значение которой в Канадской глубоководной котловине составило $+0,5\text{ °C}$, что на $0,2\text{ °C}$ выше значений аналогичного периода 2018 г. Также как и АВ, летние тихоокеанские воды характеризуются повышенной температурой, превышающей климатическое среднее на $1,5\text{ °C}$.

В российских арктических морях поверхностная температура воды повсеместно превышает климатическую норму от $+1,4\text{ °C}$ в Восточно-Сибирском до $+4,1\text{ °C}$ в Чукотском морях. Продолжает сохраняться положительная аномалия температуры ядра атлантических вод, значение которой в 2019 г. в Баренцевом море составило $+1,6\text{ °C}$, а в море Лаптевых - $+0,6\text{ °C}$. Также стоит отметить наличие положительной аномалии придонной температуры, изменяющейся в пределах от $+0,3\text{ °C}$ до $+1,0\text{ °C}$.

3.2 Гидрохимические условия

В 3 квартале 2019 г гидрохимическая база данных была пополнена информацией о концентрациях растворенного минерального азота, фосфора, кремния, значениях общей щелочности и рН, полученных в экспедиции «Трансарктика — 2019», проходившей на борту НИС «Проф. Мультановский». Работы велись с 14 августа по 05 октября 2019 г.

Работы проводились в морях Баренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-сибирском и Чукотском. Всего был произведен отбор с 152 станций, а общее количество горизонтов отбора составило 1062. Отбор и обработка проб, отобранных с поверхности океана по ходу движения судна в количестве 133 шт. (см. рис. 3.2.1). В настоящий момент обработка материалов продолжается.

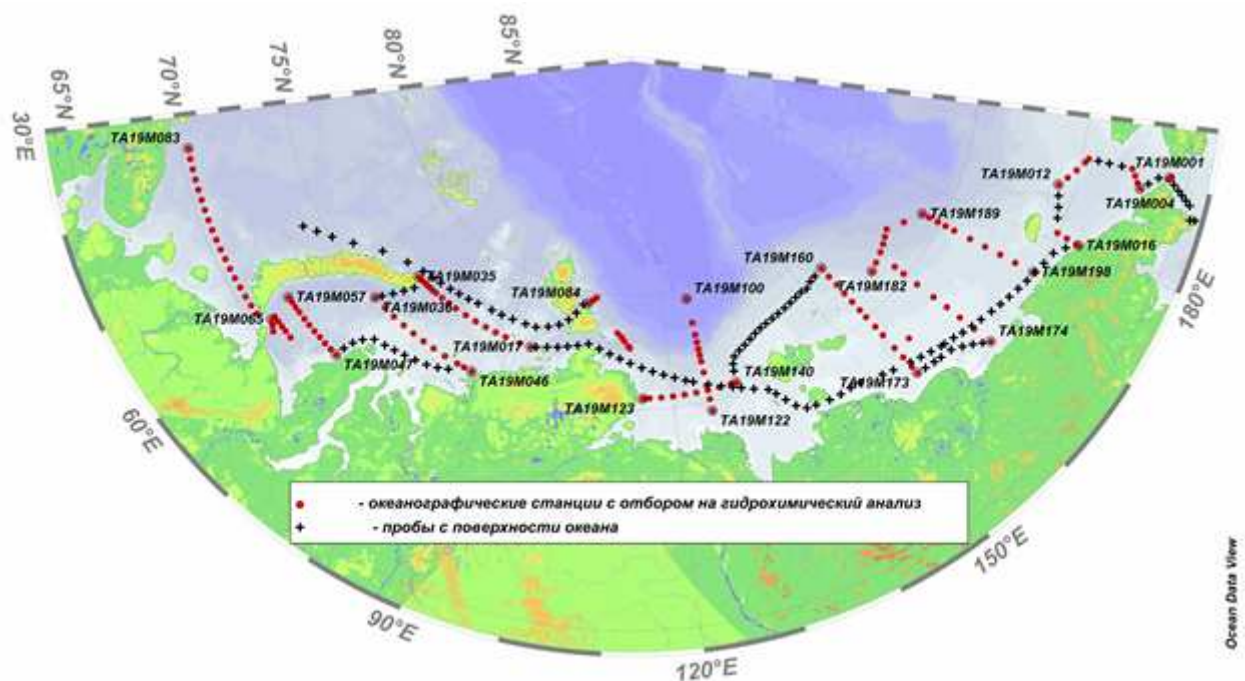


Рисунок 3.2.1 — Схема станций, выполненных в экспедиции Трансарктика — 2019, на которых проводился отбор проб воды для определения гидрохимических характеристик

Общая характеристика распределения гидрохимических характеристик летом 2019 г.

Растворенный кислород

Содержание растворенного кислорода на исследуемой акватории изменялось в значительном диапазоне. Максимальная концентрация растворенного кислорода составляла 12,16 мл/л, или почти 150 % насыщения, была зафиксирована в Чукотском море, в проливе Лонга на горизонте 14 метров. Высокие концентрации растворенного кислорода с величиной насыщения 100% и более отмечались во всех морях в поверхностном или подповерхностном слоях, что свидетельствует о продолжающемся



здесь процессе фотосинтеза: в Беринговом проливе — 9,44 мл/л (125%), в Карском — до 8,94 мл/л (108%), в Баренцевом — до 7,48 мл/л (110%), в Лаптевых — 8,82 мл/л (104%), в Восточно-Сибирском до 10,09 мл/л (120%). При этом в последнем случае, этот максимум был отмечен в промежуточном слое (глубина — 20...30 м) на мелководных станциях самого восточного разреза. Это свидетельствует о продолжающемся здесь, несмотря на поздние сроки (начало октября) процессе фотосинтеза, и подпиткой его снизу биогенными элементами из распространяющейся здесь тихоокеанской воды, богатой ими.

Минимальные концентрации растворенного кислорода — около 1,7 мл/л или около 20% насыщения были отмечены в Восточно-Сибирском море у дна. В остальных морях минимальные концентрации растворенного кислорода составили: в Чукотском — 5,64 (73%), в Карском — 5,2 (63%), в Баренцевом — 6,19 мл/л (75%), в Лаптевых — 5,4 (64%). Все они были отмечены в придонной воде.

Водородный показатель (pH)

Изменчивость водородного показателя на исследуемой акватории составила около 1,3. Максимальные значения pH были отмечены в местах интенсивного фотосинтеза, в Чукотском море до 8,63, Беринговом проливе до 8,41, в поверхностном слое, в Карском — до 8,36, в Баренцевом — до 8,39, при этом в последнем, величина pH не опускалась ниже 8,0. В Восточно-Сибирском море, аналогично растворенному кислороду, максимальный pH (до 8,36) был отмечен на глубине 15 — 30 м. Наименьшие величины pH отмечались в придонных горизонтах шельфовых морей. Минимальное значение pH (ниже 7,39) было зафиксировано у дна в Восточно-сибирском море, там же где был отмечен и минимум кислорода. Как и в случае с кислородом, придонный слой Восточно-сибирского моря — область абсолютно низких для исследуемой акватории величин pH — менее 7,7. Для остальных морей минимальное значение pH составило: для Чукотского — 7,77, для Карского — 7,89, для Баренцева — 8,02, для Лаптевых — 7,71.

Общая щелочность

Максимальные значения общей щелочности за весь рейс пришлось на Баренцево море и составили 2,64 мкмоль/л (минимум в море — 2,28 мкмоль/л), минимальные — на Восточно-Сибирское: 1,38 мкмоль/л (максимум в море — 2,21 мкмоль/л). В Карском море наибольшие значения составили 2,61 мкмоль/л, наименьшие 1,75 мкмоль/л. В море Лаптевых значения общей щелочности были несколько меньше: максимум — 2,51 мкмоль/л, минимум — 1,48 мкмоль/л. В Чукотском море общая щелочность составляет: максимум — 2,36 мкмоль/л, минимум — 1,67 мкмоль/л. В Беринговом проливе максимум щелочности составил 2,405 мкмоль/л, а минимум — 2,075 мкмоль/л. Наименьшие значения общей щелочности располагаются в поверхностном слое в зонах материкового стока.



Наибольшие же величины располагаются на глубинах более 50 м. Максимальные значения удельной щелочности (отношение щелочность/соленость) встречаются в Карском море — 0,114 и в море Лаптевых — 0,086, в зонах выноса речных вод.

Кремний

Концентрации кремния на акватории исследуемых морей изменялась от почти нулевых значений в поверхностном слое (акватория Баренцева моря, западная часть Карского моря, море Лаптевых у пролива Шокальского), до величин более 40 мкМоль/л (1120 мкг/л), отмеченных повсеместно в придонных горизонтах Восточно-сибирского, Чукотского, Берингова морей и на отдельных станциях Берингова и Карского морей. Максимальное значение кремния зафиксировано у дна в Восточно-сибирском море — около 86,7 мкМоль/л (2427,5 мкг/л). Для отдельных морей диапазон изменений содержания кремния в воде так же был весьма значительным. Для Чукотского моря он составил от 0,9 до 52,5 мкМоль/л, что говорит об интенсивном потреблении кремния, приносимого в Чукотское море с тихоокеанскими водами, диатомовым фитопланктоном. В Карском море содержание кремния изменялось от 0,1 мкМоль/л (у берегов Новой Земли) до 48,3 мкМоль/л (вблизи примыкания Обской губы), при этом все эта изменчивость наблюдалась на поверхности, что свидетельствует о принципиально различном влиянии на формирование поверхностной водной массы Карского моря в разных районах моря вод речного происхождения, с высоким содержанием кремния и поверхностной воды из Баренцева моря с концентрациями кремния, близкими к нулевым. В Баренцевом море отмечен наименьший разброс концентраций кремния — от почти нулевых на поверхности, до 13 мкМоль у дна, где в придонной воде происходит его накопление. В море Лаптевых, также находящемся под сильным влиянием материкового стока, максимальные значения кремния достигали в поверхностном слое величин более 40. В Восточно-сибирском море, находящемся под сильным влиянием как Тихоокеанских вод (подпитывающих кремнием придонные и промежуточные слои), так и речных вод (подпитывающих поверхностный слой), концентрации кремния нигде не опускались ниже 4 мкМоль, а в слое 40 — 80 м, где происходит распространение тихоокеанских вод, содержание кремния составляло более 50 мкМоль. На самых глубоких станциях выполненных в Арктическом бассейне глубже 2000 м содержание кремния составило 11,8 мкМоль.

Минеральный фосфор

Содержание минерального фосфора в воде изменялось от почти нулевых концентраций на поверхности в морях Карском, Баренцевом, Лаптевых до величин более 2,4 мкМоль, наблюдавшихся, как и кремний, у дна в Чукотском море или в слое 40 — 80



метров в Восточно-Сибирском и связанных, также с распространением здесь тихоокеанской воды. Аномально высокая концентрация минерального фосфора — 3,6 мкМоль была отмечена у дна в Восточно-Сибирском море, там же где были отмечены аномалии кислорода, рН и кремния. Максимальные концентрации минерального фосфора в Карском море отмечались в придонном слое в юго-западной части моря (Новоземельский желоб) и оставляли 1,08 — 1,41 мкМоль, в Баренцевом — 1,16 (у дна вблизи пролива Карские ворота), а в море Лаптевых — 1,01 мкМоль (в Арктическом бассейне глубже 2000 м) в придонных слоях максимальные концентрации минерального фосфора не превышали 1,41 мкМоль,

Нитраты

Концентрации нитратного азота опускались до своих минимальных значений (до аналитического нуля) в поверхностном слое, практически повсеместно во всех морях. Такая картина характерна для конца лета-начала осени в Арктике, когда запасы этой формы азота в фотическом слое уже практически исчерпаны фитопланктоном. Толщина верхнего слоя с практически нулевым содержанием нитратов максимально достигало 50 м (Баренцево море). Максимальные концентрации нитратного азота на исследуемой акватории (более 22 мкМоль) были зафиксированы в Беринговом море и у дна, и на поверхности, а также на отдельных станциях у дна в Чукотском море (в слое Тихоокеанской воды). В Карском море максимум нитратного азота прослеживался в придонном слое в Новоземельском желобе — более 10 мкМоль (максимально — до 14,4 мкМоль), а в Баренцевом — 13,1 мкМоль. В море Лаптевых, как и у фосфатов, максимальные концентрации нитратов отмечены на глубинах более 2000 м в Арктическом бассейне — 15,5 мкМоль.

Нитриты

Концентрации нитритного азота в большинстве проб были крайне незначительны и близки к аналитическому нулю. Максимальные концентрации нитритов были отмечены в промежуточном слое на глубинах около 50 м в Карском и Баренцевом морях и достигали величин 0,41...0,43 мкМоль. В море Лаптевых явно выраженный максимум нитритов на глубинах 40 — 50 м отмечался на северных станциях в глубоководной части моря, где их концентрация достигала 0,31 мкМоль. В Восточно-сибирском море и Беринговом проливе максимум нитритов более 0,3 мкМоль отмечался на верхней границе придонного слоя (горизонт 20 м) или у дна. В Чукотском море содержание нитритов максимально составило 0,23 мкМоль.

*Аммонийный азот*

Низкие значения аммонийного азота (менее 0,1 мкМоль) повсеместно наблюдались в поверхностном слое почти всех арктических морей. Исключение составили пробы отобранные с поверхности в Беринговом море, в конце экспедиции, в которых содержание аммонийного азота было абсолютно максимальным за все время экспедиции и составило более 8 мкМоль. Следует отметить, что в пробах, отобранных в этом районе в августе, содержание аммонийного азота было также высоким — от 2 до 5,2 мкМоль. В водах Берингова пролива высокие концентрации аммония отмечались и в августе и в октябре (до 3,5 мкМоль), а также в Чукотском и Восточно-сибирском морях в придонном слое (до 7,8 мкМоль). В Карском море максимальные концентрации аммонийного азота обнаружены на ближайших к северной оконечности Новой Земли станциях в промежуточном слое 75 — 100 м до 2,5 — 3,7 мкМоль. В Баренцевом море максимальные величины аммонийного азота были отмечены в придонном слое на мелководных участках севернее о. Колгуев. Наличие таких областей с высоким содержанием аммонийного азота свидетельствует об активных продукционно-деструкционных процессах, происходящих в этих районах в этот период времени. В море Лаптевых максимальная концентрация составила 1,7 мкМоль и была отмечена в центральной части моря на поверхности.

На рисунках 3.2.2 — 3.2.8 показаны схемы станций и вертикальное распределение гидрохимических характеристик.

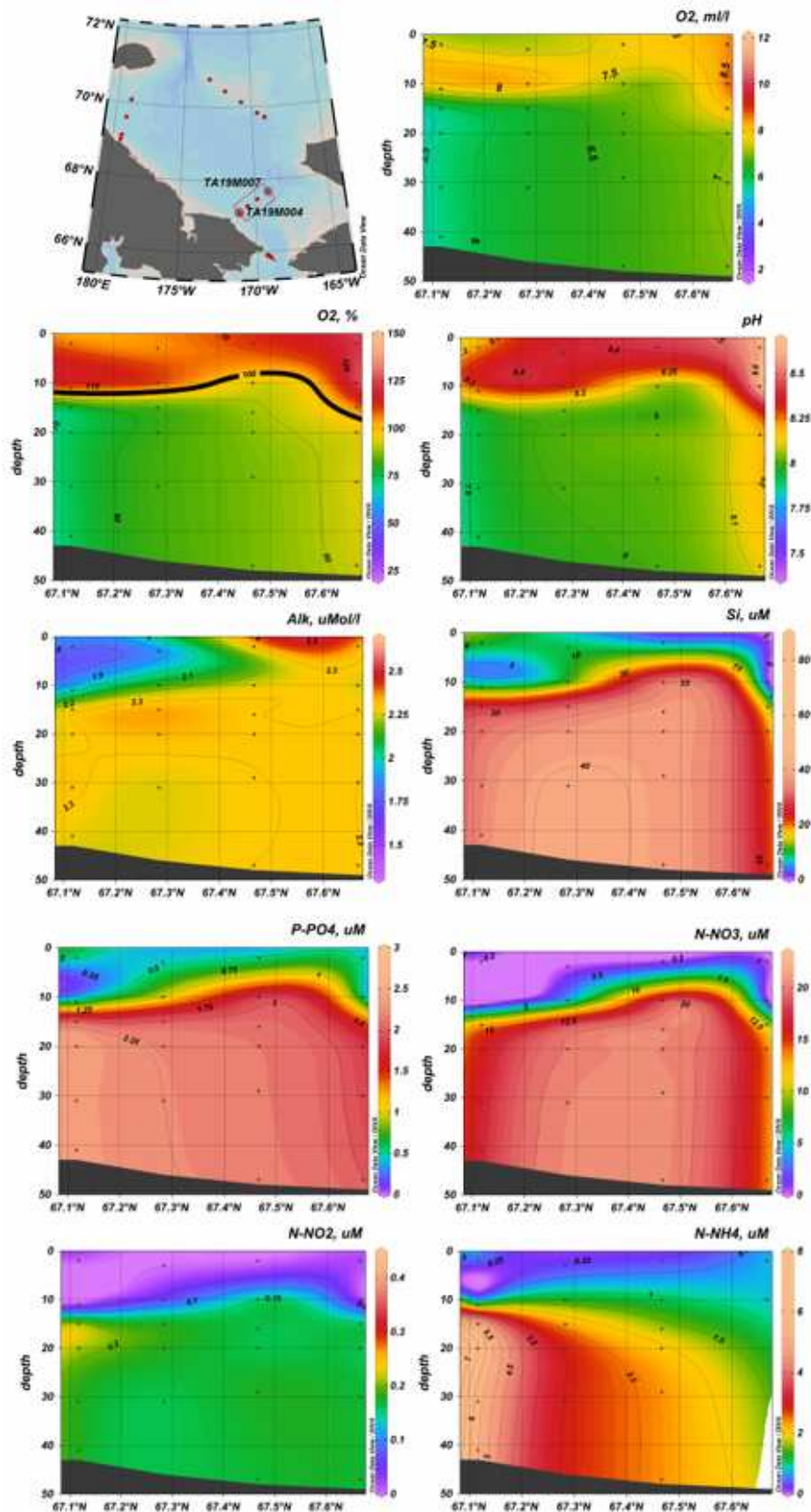


Рис. 3.2.2 — Схема станций и вертикальное распределение растворенного кислорода, мл/л ($O_2, ml/l$), процентного насыщения растворенным кислородом ($O_2, \%$), водородного показателя (pH), общей щелочности, мкМоль (Alk), кремния, мкМоль (Si), минерального фосфора, мкМоль (P-PO₄, нитратного, мкМоль (N-NO₃), нитритного, мкМоль (N-NO₂) и аммонийного азота, мкМоль (N-NH₄)

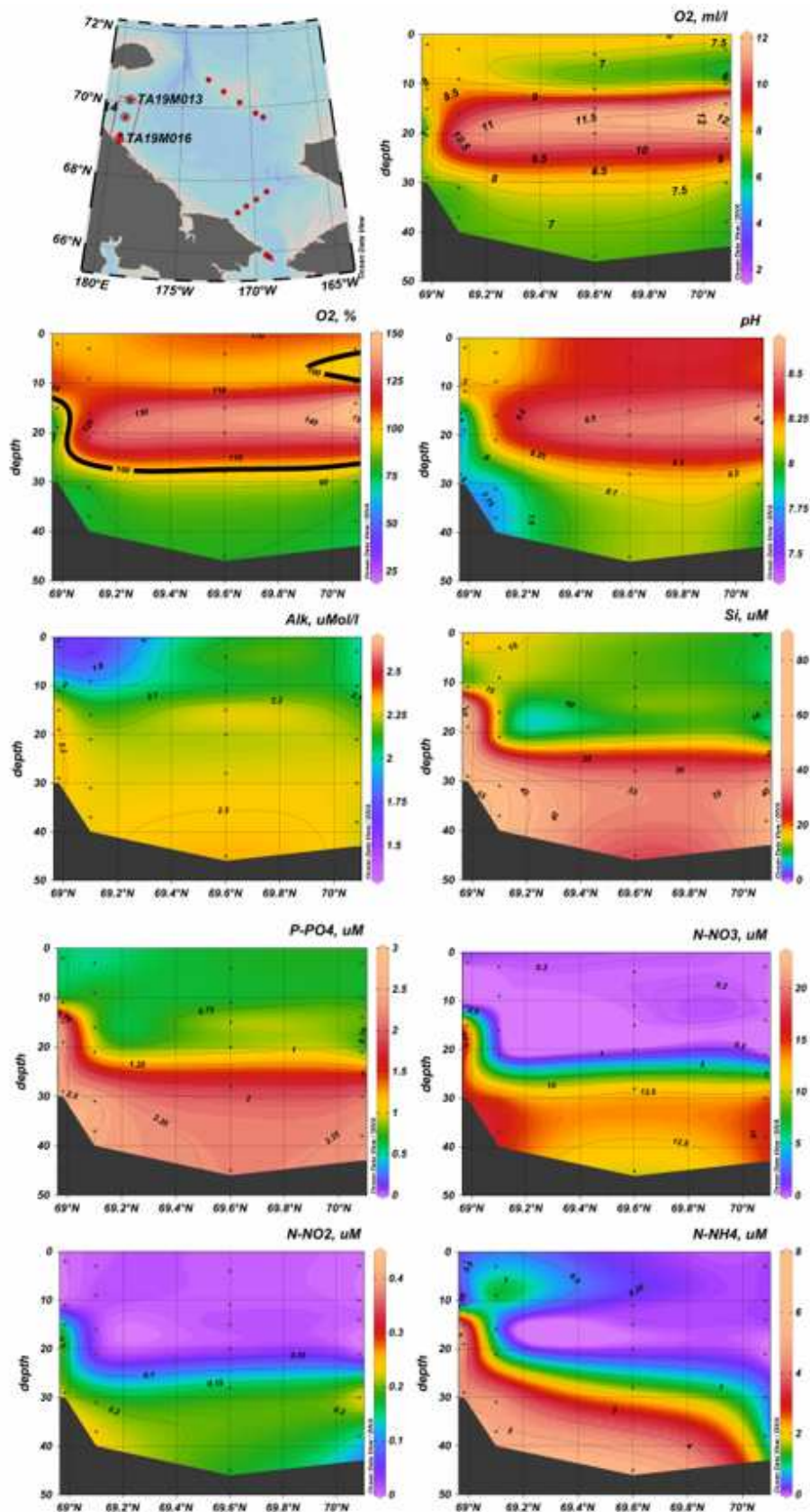


Рис. 3.2.3 — Схема станций и вертикальное распределение на разрезе растворенного кислорода, мл/л ($O_2, ml/l$), процентного насыщения растворенным кислородом ($O_2, \%$), водородного показателя (pH), общей щелочности, мкМоль (Alk), кремния, мкМоль (Si), минерального фосфора, мкМоль ($P-PO_4$, нитратного, мкМоль ($N-NO_3$), нитритного, мкМоль ($N-NO_2$) и аммонийного азота, мкМоль ($N-NH_4$)

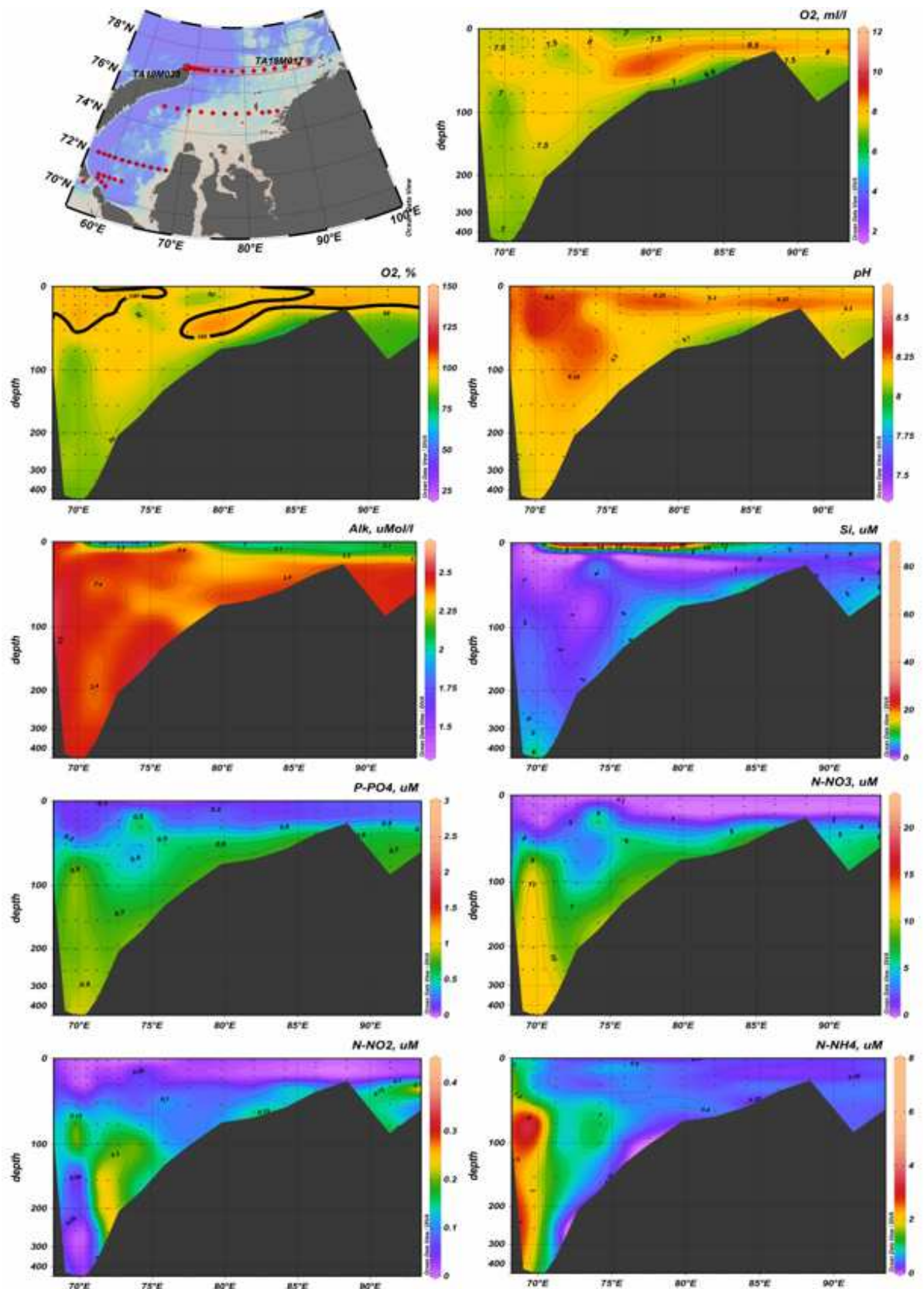


Рис. 3.2.4 — Схема станций и вертикальное распределение на разрезе в Карском море: растворенного кислорода, мл/л ($O_2, \text{ml/l}$), процентного насыщения растворенным кислородом ($O_2, \%$), водородного показателя (pH), общей щелочности, мкМоль (Alk), кремния, мкМоль (Si), минерального фосфора, мкМоль ($P\text{-PO}_4$, нитратного, мкМоль ($N\text{-NO}_3$), нитритного, мкМоль ($N\text{-NO}_2$) и аммонийного азота, мкМоль ($N\text{-NH}_4$)

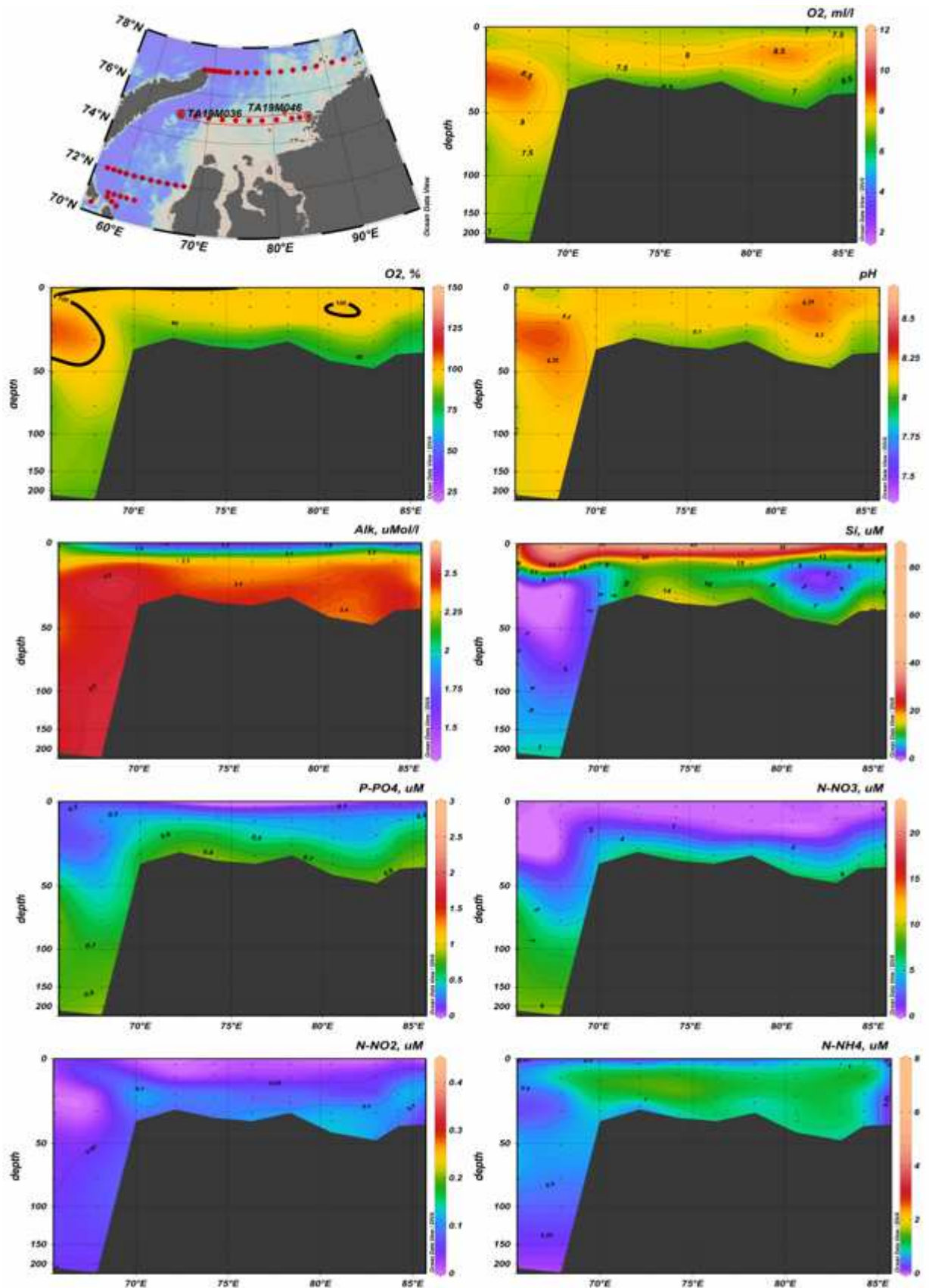


Рис. 3.2.5 — Схема станций и вертикальное распределение на разрезе в Карском море: растворенного кислорода, мл/л ($O_2, ml/l$), процентного насыщения растворенным кислородом ($O_2, \%$), водородного показателя (pH), общей щелочности, мкМоль (Alk), кремния, мкМоль (Si), минерального фосфора, мкМоль (P-PO₄, нитратного, мкМоль (N-NO₃), нитритного, мкМоль (N-NO₂) и аммонийного азота, мкМоль (N-NH₄)

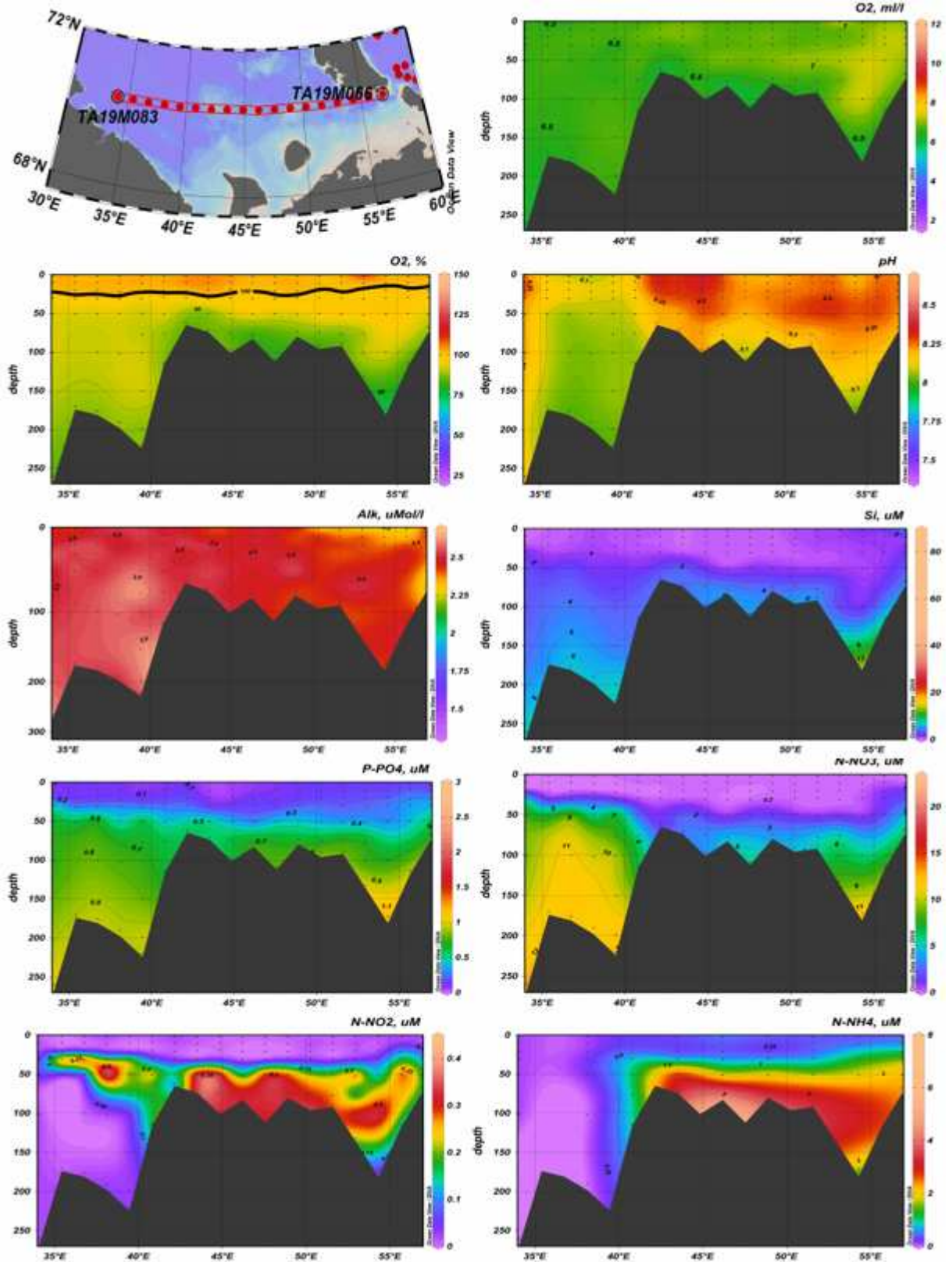


Рис. 3.2.6 — Схема станций и вертикальное распределение на разрезе в Баренцевом море: растворенного кислорода, мл/л ($O_2, \text{ml/l}$), процентного насыщения растворенным кислородом ($O_2, \%$), водородного показателя (pH), общей щелочности, мкМоль (Alk), кремния, мкМоль (Si), минерального фосфора, мкМоль (P-PO₄, нитратного, мкМоль (N-NO₃), нитритного, мкМоль (N-NO₂) и аммонийного азота, мкМоль (N-NH₄)

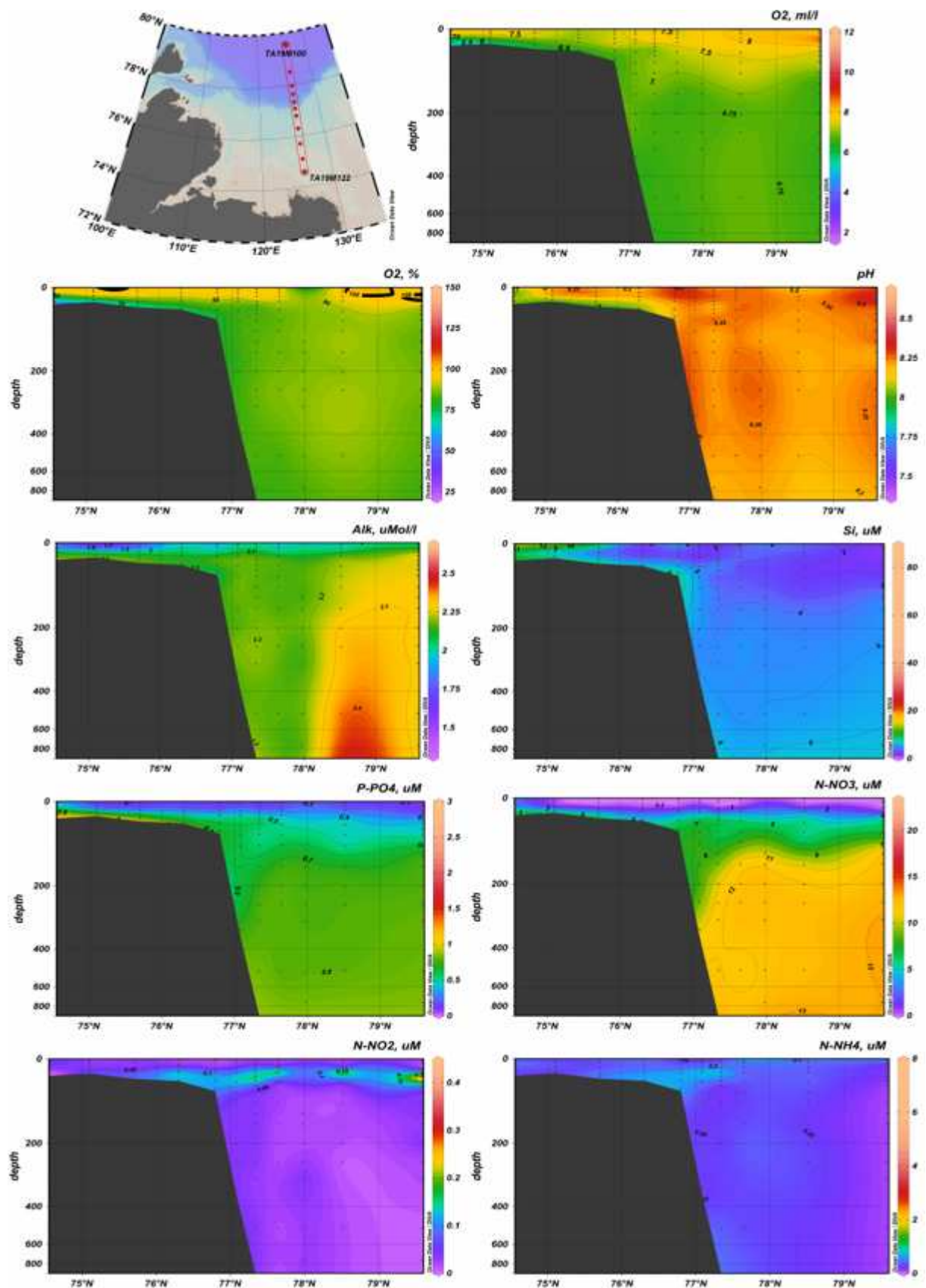


Рис. 3.2.7 — Схема станций и вертикальное распределение на разрезе в море Лаптевых: растворенного кислорода, мл/л ($O_2, \text{ml/l}$), процентного насыщения растворенным кислородом ($O_2, \%$), водородного показателя (pH), общей щелочности, мкМоль (Alk), кремния, мкМоль (Si), минерального фосфора, мкМоль ($P\text{-PO}_4$, нитратного, мкМоль ($N\text{-NO}_3$), нитритного, мкМоль ($N\text{-NO}_2$) и аммонийного азота, мкМоль ($N\text{-NH}_4$)

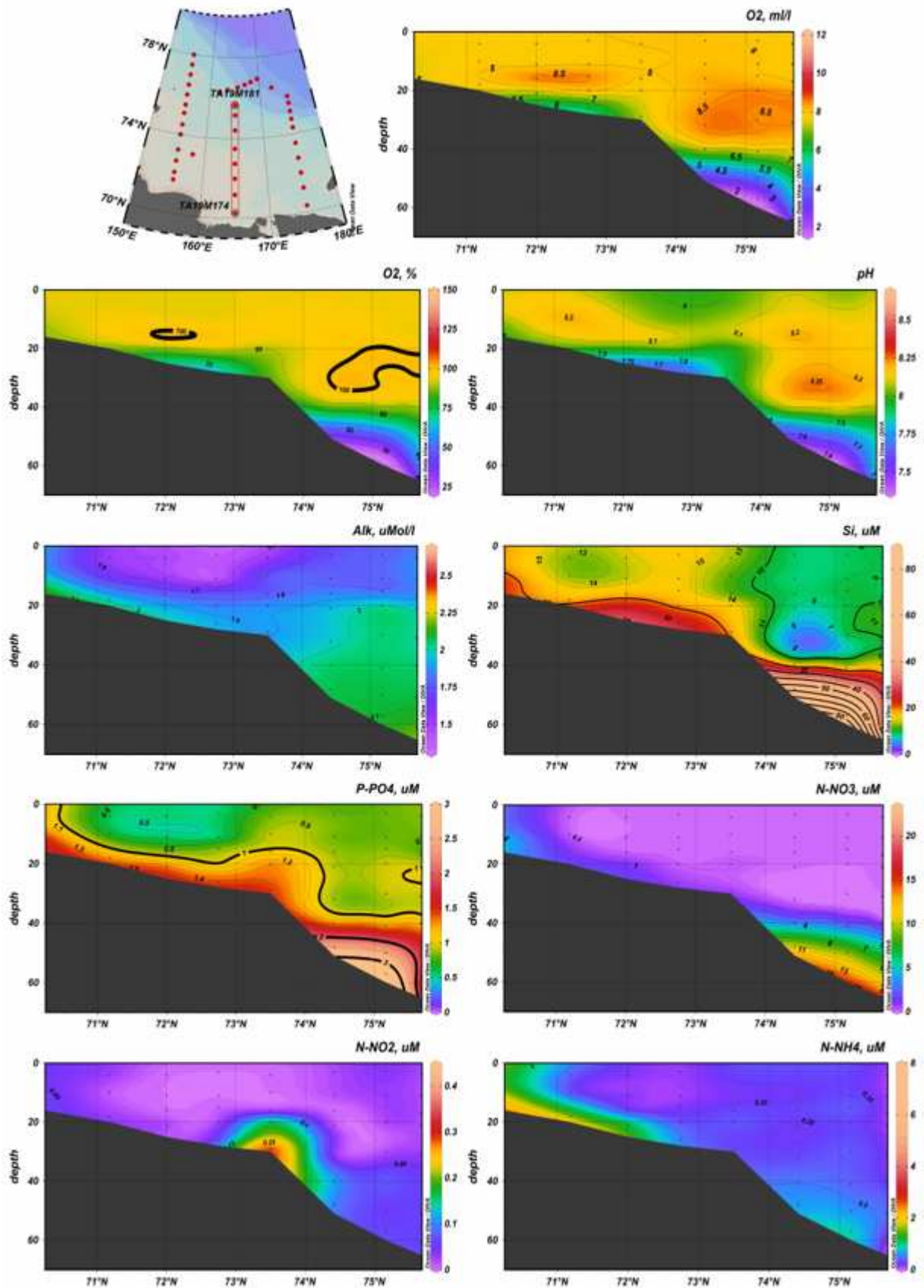


Рис. 3.2.8 — Схема станций и вертикальное распределение в Восточно-сибирском море: растворенного кислорода, мл/л ($O_2, \text{ml/l}$), процентного насыщения растворенным кислородом ($O_2, \%$), водородного показателя (pH), общей щелочности, мкМоль (Alk), кремния, мкМоль (Si), минерального фосфора, мкМоль (P-PO4, нитратного, мкМоль (N-NO3), нитритного, мкМоль (N-NO2) и аммонийного азота, мкМоль (N-NH4)



Поверхностное распределение

По распределению отдельных гидрохимических характеристик на поверхности можно хорошо разделять поверхностные водные массы различного происхождения: по щелочности и кремнию хорошо выделяются речные воды, по кремнию и фосфору – тихоокеанские, а по нитратам – области недавнего подъема глубинных вод, и места возможного увеличения первичной продукции на поверхности, т.к. преимущественно именно азот является лимитирующим элементов для фитопланктона в Арктике.

В северной части Берингова моря отмечались наиболее высокие концентрации основных биогенных элементов, свидетельствующие о непрерывном подпитывании этих вод биогенными элементами в результате мощных апвеллингов, происходящих в районе континентального склона в северной части Берингова моря. В Беринговом проливе концентрации биогенных элементов значительно снижаются в результате активного потребления их фитопланктоном

В Восточно-сибирском море, вследствие увеличения влияния материкового стока снижается величина общей щелочности (ниже 2 мкМоль).



3.3 Уровень арктических морей

Характеристика особенностей колебаний уровня арктических морей за период с июля по сентябрь 2019 года составлена по данным четырехсрочных и восьмисрочных наблюдений на 12-ти станциях, расположенных в морях Карском и Лаптевых (см. табл. 3.2.1). В Восточно-Сибирском и Чукотском морях наблюдения за уровнем моря не производились ни на одной из станций.

Таблица 3.2.1

Полярные станции, на которых осуществлялись наблюдения за колебаниями уровня в период июль-сентябрь 2019 г.

Станция	Широта	Долгота
Карское море		
им. Е.К. Федорова (мыс Болванский Нос)	70 27 N	59 05 E
Амдерма	69 45 N	61 42 E
Усть-Кара	69 15 N	64 31 E
Новый Порт	67 41 N	72 53 E
Сопочная Карга	71 52 N	82 42 E
о. Диксон	73 30 N	80 24 E
Мыс Стерлегова	75 25 N	88 54 E
Попова (бывш. о. Белый)	73 20 N	70 03 E
Море Лаптевых		
Анабар	73 13 N	113 30 E
м. Кигилях	73 20 N	139 52 E
пр. Санникова	74 40 N	138 54 E
о. Котельный	76 00 N	137 52 E

В юго-западной части Карского моря (см. рис. 3.2.1, табл. 3.2.2) по данным станций им. Е.К. Фёдорова (м. Болванский Нос), Амдерма и Усть-Кара в июле и августе уровень моря колебался в районе среднегодовой отметки. Лишь в сентябре можно отметить некоторый подъём уровня поверхности до значений +50...+80 см. Но по общей картине видно, что в рассматриваемый период времени на этих трёх станциях не происходило каких-либо заметных подъёмов или опусканий уровня поверхности. В третьей декаде августа, а также в сентябре, производился мониторинг уровня на станции Попова (бывш. о. Белый). Здесь колебания уровня происходили на пониженном фоне. Максимальное значение уровня зафиксировано 8 сентября (+45 см), а минимальное — 16 сентября (–100 см).

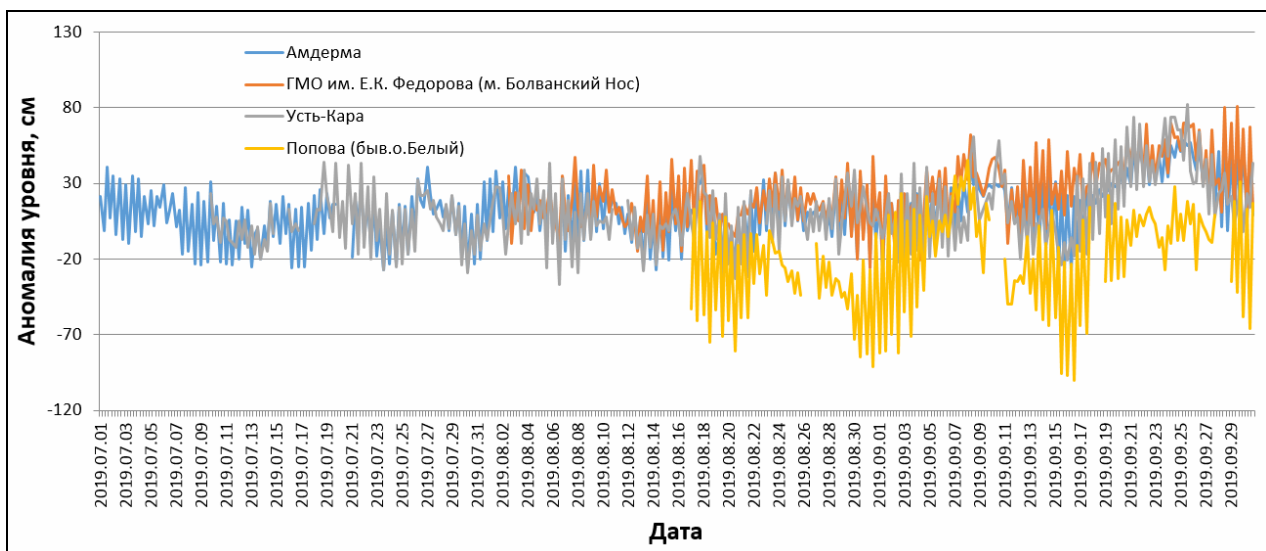


Рис. 3.2.1. Колебания уровня на станциях юго-западной части Карского моря в июле — сентябре 2019 г.

Таблица 3.2.2

Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях юго-западной части Карского моря в июле – сентябре 2019 г.

Станция	Хар-ки	Месяц		
		Июль	Август	Сентябрь
им. Е.К. Федорова (м. Болванский Нос)	h_{cp} (см)	—	14	34
	σ_h (см)	—	16	23
	h_{min} (см)	—	-26	-26
	Дата	—	31	1
	h_{max} (см)	—	48	81
	Дата	—	31	29
Амдерма	h_{cp} (см)	5	9	23
	σ_h (см)	18	18	21
	h_{min} (см)	-27	-27	-28
	Дата	23	14	16
	h_{max} (см)	41	41	59
	Дата	1	3	29
Усть-Кара	h_{cp} (см)	4	7	20
	σ_h (см)	17	18	27
	h_{min} (см)	-29	-37	-25
	Дата	30	6	4
	h_{max} (см)	44	48	82
	Дата	18	17	25
Попова (быв. о.Белый)	h_{cp} (см)	—	—	-14
	σ_h (см)	—	—	33
	h_{min} (см)	—	—	-100
	Дата	—	—	16
	h_{max} (см)	—	—	45
	Дата	—	—	8

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



На северо-востоке Карского моря (см. рис. 3.2.2, табл. 3.2.3) на станциях Сопочная Карга и Мыс Стерлегова средние значения уровня были близки к среднемноголетним.

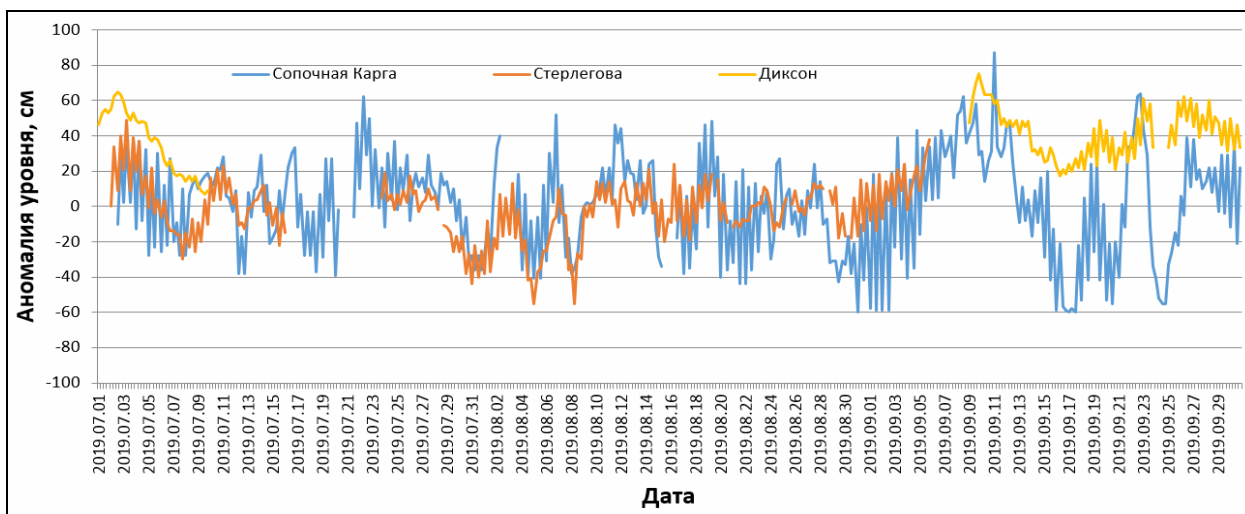


Рис. 3.2.2. Колебания уровня на станциях северо-восточной части Карского моря в июле – сентябре 2019 г.

Таблица 3.2.3

Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях северо-восточной части Карского моря и Обской губы в июле – сентябре 2019 г.

Станция	Хар-ки	Месяц		
		Июль	Август	Сентябрь
Новый порт (Обская губа)	h_{cp} (см)	29	22	28
	σ_h (см)	13	25	29
	h_{min} (см)	-16	-36	-42
	Дата	20	22	18
	h_{max} (см)	49	84	84
	Дата	10	26	11
о. Диксон	h_{cp} (см)	–	–	41
	σ_h (см)	–	–	14
	h_{min} (см)	–	–	17
	Дата	–	–	16
	h_{max} (см)	–	–	75
	Дата	–	–	9
Сопочная Карга	h_{cp} (см)	4	-4	3
	σ_h (см)	22	25	36
	h_{min} (см)	-39	-60	-60
	Дата	20	31	17
	h_{max} (см)	62	52	87
	Дата	22	6	11
м. Стерлегова	h_{cp} (см)	-1	-5	–
	σ_h (см)	18	16	–
	h_{min} (см)	-44	-55	–
	Дата	31	5,8	–
	h_{max} (см)	49	24	–
	Дата	3	16	–

При этом стоит отметить несколько, как положительных, так и отрицательных экстремумов в графике хода уровня на этих станциях. В июле максимальные значения уровня здесь были равны +40....+60 см, а минимальные — минус 40 см. В августе уровенная поверхность колебалась в пределах от -60 до +50 см. В сентябре измерения производились только на станции Сопочная Карга, и здесь уровенная поверхность поднималась до отметки +87 см 11 сентября. Так же стоит отметить, что амплитуда колебаний уровня в сентябре была значительно выше. На станции о. Диксон измерения проводились только в первой декаде июля и в сентябре. Здесь колебания происходили на повышенном фоне, среднее значение уровня в сентябре — +41 см. На станции ГМО им. Е.К. Федорова (м. Челюскина) измерения уровня в рассматриваемый период времени практически не проводились.

На станции Новый Порт (Обская губа) (см. рис. 3.2.3, табл. 3.2.4) в течение рассматриваемого периода среднее значение уровня практически не менялось. Здесь стоит отметить явное понижение уровня в августе месяце, когда среднее значение было минимальным (+22 см). В сентябре отмечается возрастание среднеквадратичного отклонения уровня. Во второй декаде этого месяца происходили резкие перепады высоты уровенной поверхности от -42 до +84 см.

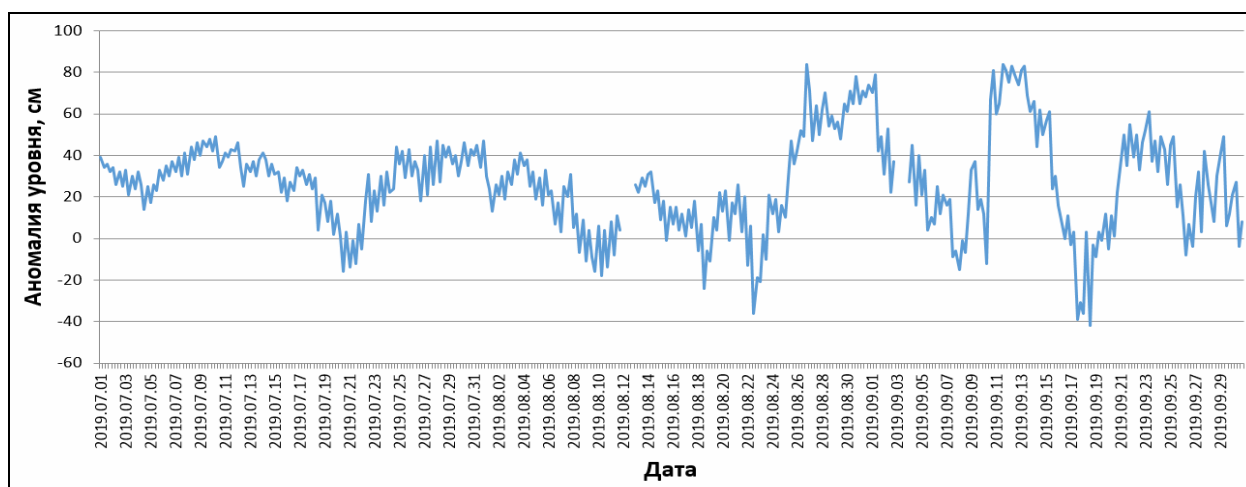


Рис. 3.2.3. Колебания уровня на станции в Обской губе Карского моря (Новый Порт) в июле – сентябре 2019 г.

В юго-западной части моря Лаптевых по данным станции Анабар (рис. 3.2.4, табл. 3.2.4) колебания уровня происходили на пониженном фоне. Очень редко уровенная поверхность поднималась выше среднемноголетнего значения, и лишь во время приливов. В течение практически всего периода наблюдений уровень время от времени опускался до минимально возможной отметки минус 128 см и акватория вокруг станции полностью освобождалась от воды.

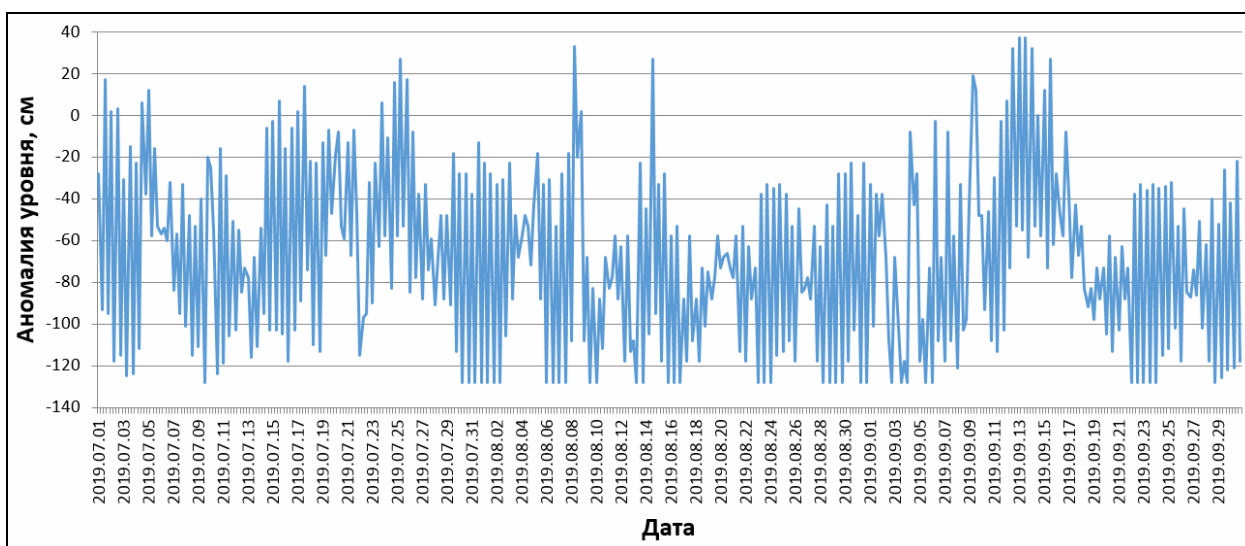


Рис. 3.2.4 Колебания уровня в юго-западной части моря Лаптевых (Анабар) в июле — сентябре 2019 г.

Таблица 3.2.4

Основные характеристики изменений колебаний уровня на станциях моря Лаптевых в июле – сентябре 2019 г.

Станция	Хар-ки	Месяц		
		Июль	Август	Сентябрь
Анабар	h_{cp} (см)	-58	-79	-67
	σ_h (см)	43	36	44
	h_{min} (см)	-128	-128	-128
	Дата			
	h_{max} (см)	27	-18	37
	Дата	25	8	13
м. Кигилях	h_{cp} (см)	31	-2	1
	σ_h (см)	26	12	29
	h_{min} (см)	-42	-31	-65
	Дата	9	14	23
	h_{max} (см)	81	30	85
	Дата	16	21,29	11
пр. Санникова	h_{cp} (см)	24	20	39
	σ_h (см)	15	16	15
	h_{min} (см)	-20	-15	5
	Дата	9	9	23,24
	h_{max} (см)	66	62	68
	Дата	26	22	6,9,11
о. Котельный	h_{cp} (см)	27	1	13
	σ_h (см)	23	22	24
	h_{min} (см)	-18	-56	-32
	Дата	18	3	17
	h_{max} (см)	68	39	62
	Дата	4	4	4,5

На востоке моря Лаптевых по данным станций м. Кигилях, пр. Санникова и о. Котельный (см. рис. 3.2.5) в июле уровенная поверхность в основном колебалась выше

среднемноголетних значений: среднее для станции м. Кигилях — +31 см, для пр. Санникова — +24 см, для о. Котельный — +27 см.

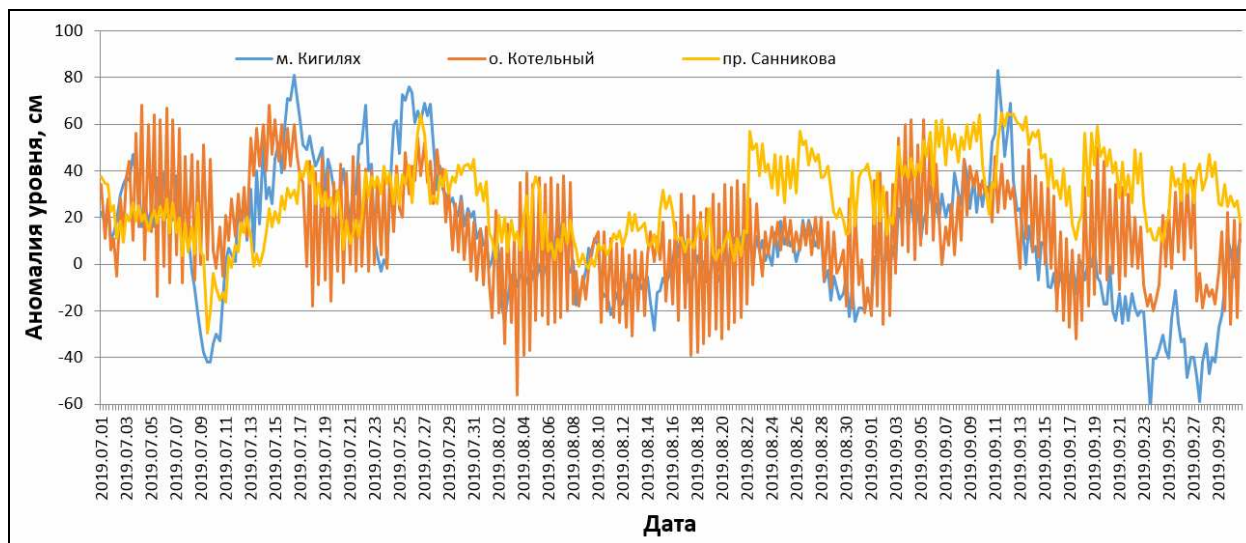


Рис. 3.2.5. Колебания уровня на станциях восточной части моря Лаптевых в июле – сентябре 2019 г.

В августе среднее значение уровня для станции пр. Санникова практически не поменялось (+20 см) тогда как на двух других станциях оно достигло среднемноголетней отметки (–2 см для м. Кигилях и +1 см для о. Котельный). В сентябре на станции о. Котельный уровень воды повысился, тогда как на станции м. Кигилях, не смотря на подъем уровня в начале месяца до +85 см, в конце месяца он опустился до минус 65 см. В целом, стоит отметить очень разную картину хода уровенной поверхности на этих трёх станциях в рассматриваемый период.

Наблюдений за колебаниями уровня на станциях, расположенных в Восточно-Сибирском и Чукотском морях в третьем квартале 2019 г. не производилось, в связи с чем, дать какую-либо оценку особенностей колебаний уровня этого моря не представляется возможным.

3.4. Ветровое волнение на акватории арктических морей в 3 квартале 2019 г.

По результатам модельных расчетов была выполнена оценка повторяемости максимумов значительных высот волн (H_s — significant wave height, обеспеченность 13 %) в арктических морях России с июля по сентябрь 2019 г. Расчеты и прогнозы ветрового волнения осуществлялись по авторской технологии, основанной на спектрально-параметрической модели (СПМ) ветрового волнения ААНИИ (AARI-PD2). В 2010 г. данная технология была представлена на ЦМКП и решением комиссии рекомендована к использованию в ААНИИ для выполнения оперативных прогнозов на акватории морей



Российской Арктики. В 2013 г. получено свидетельство о государственной регистрации авторской технологии прогноза параметров (элементов) ветрового волнения, скорости (степени) брызгового обледенения судов в Реестре программ для ЭВМ (№ 2013617230 от 06 августа). Основными исходными данными модели являлись поля атмосферного давления на уровне моря (или составляющие скорости ветра на 10-ти метровом горизонте) и температура воздуха на высоте 2 м центра Брекнелл (Великобритания, EGRR), оперативно поступающие в ААНИИ в центр коммутации сообщений (ЦКС UNIMAS) автоматизированной системы передачи данных (АСПД) Росгидромета (формат данных GRIB1). Положение кромки льда при расчетах задавалось по ежедневным спутниковым многоканальным микроволновым данным (SSM/I) и уточнялось по данным реанализа сплоченности льда ААНИИ. Расчеты проводились для морей Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Сведения о распределении высот волн H_s для этих морей приведены в таблицах 3.4.1—3.4.5.

Как видно из таблицы 3.4.1, в третьем квартале 2019 г. на акватории Баренцева моря в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 2 до 3 м. Самым штормовым месяцем стал сентябрь. Максимальная высота волн в этот период составила 4,5 — 5,0 м (16 и 25 сентября), что на 1 метр ниже, чем в третьем квартале 2018г.

Таблица 3.4.1

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

Месяц	Высота волн, м				
	0 — 1	1 — 2	2 — 3	3 — 4	4 — 5
Июль	—	13	7	11	—
Август	—	11	13	4	3
Сентябрь	—	1	12	12	5
Итого	—	25	32	27	8

На рисунке 3.4.1, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн H_s на акватории Баренцева моря 16 сентября 2019 г. на 12 ч.

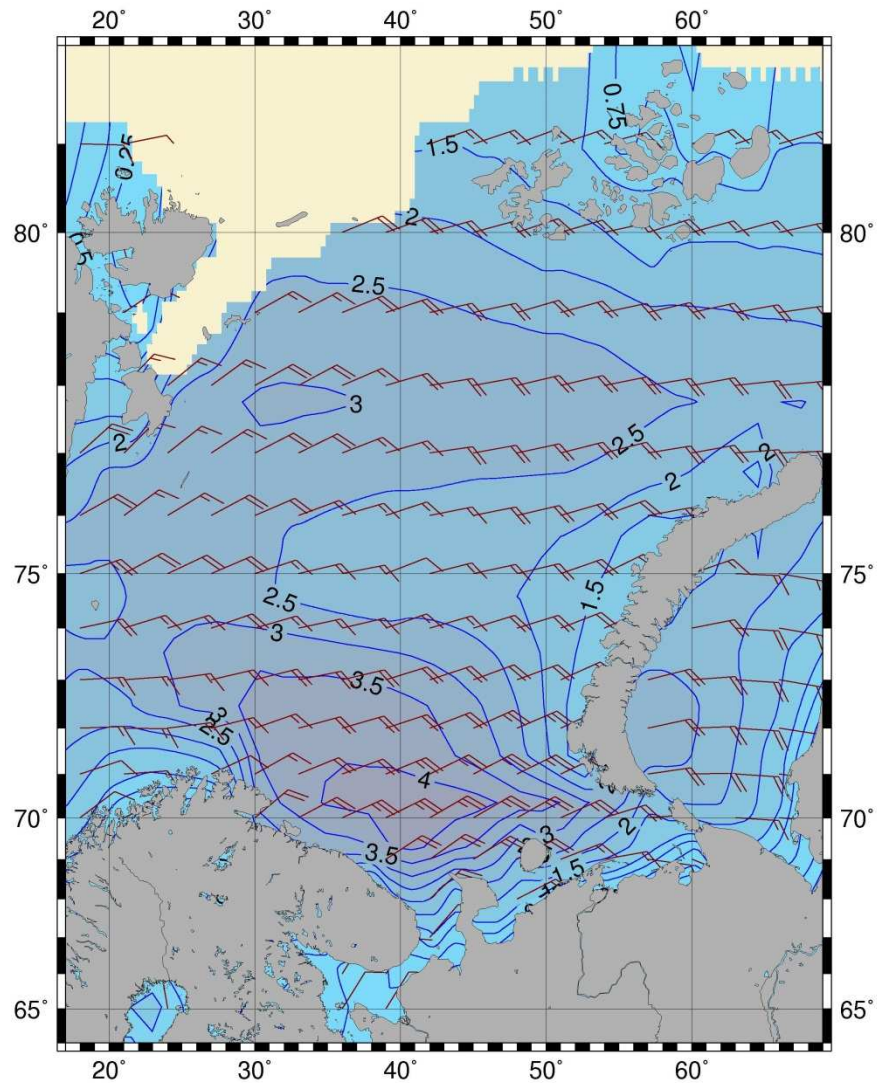


Рисунок 3.4.1 — Поле ветра и высот волн (H_s , м) в Баренцевом море на 12 ч UTC 16 сентября 2019 г.

В Карском море (табл. 3.4.2) в третьем квартале 2019 г. в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 1 до 2 м. Наиболее штормовым месяцем стал сентябрь. Максимальная высота волн в этот период составила более 4 м (10 сентября на 18 ч и 11 сентября на 00 ч), что на 1 метр ниже, чем в третьем квартале 2018г. Море полностью очистилось ото льда в третьей декаде августа. В это время область чистой воды доходила до 83° с.ш. и сохранялась на широте 82 — 83° до конца сентября. На рисунке 3.4.2, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн H_s на акватории Карского моря на 18 ч 10 сентября 2019 г.

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

Месяц	Высота волн, м				
	0 — 1	1 — 2	2 — 3	3 — 4	4 — 5
Июль	—	23	8	—	—
Август	1	14	15	1	—
Сентябрь	—	7	12	9	2
Итого	1	44	35	10	2

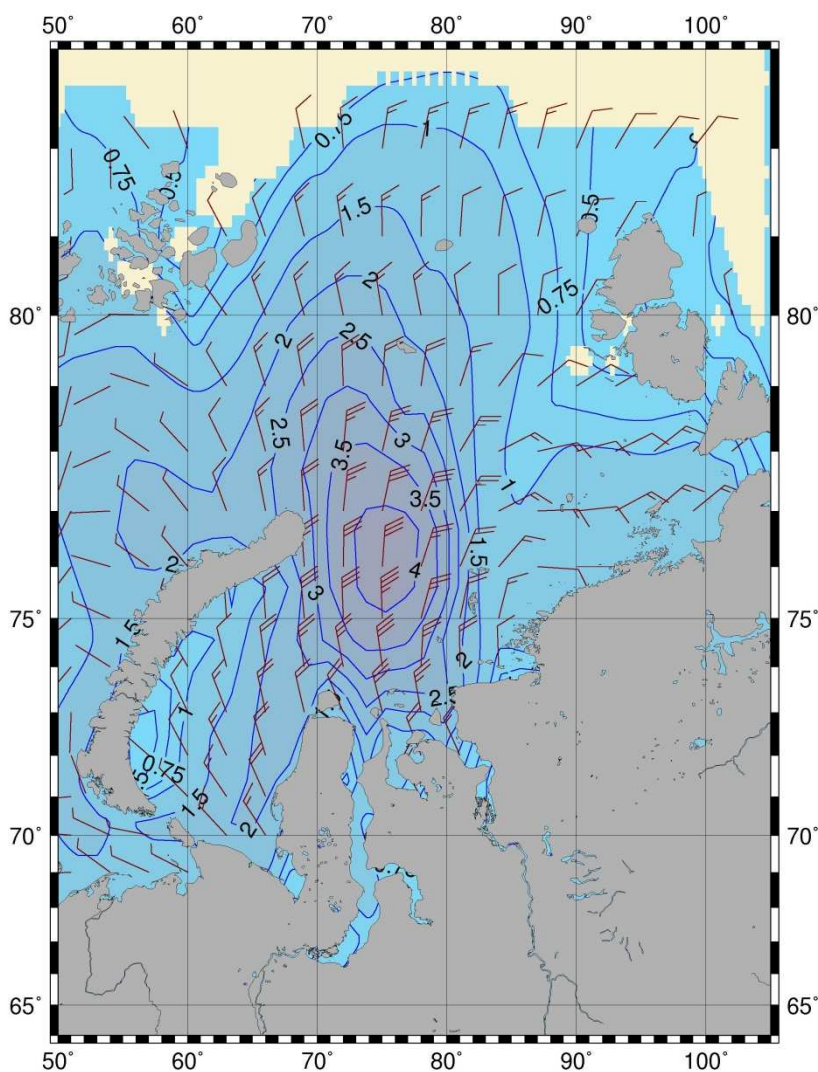


Рис. 3.4.2 — Поле ветра и высот волн (H_s , м) в Карском море на 18 ч UTC 10 сентября 2019 г.

Сведения о распределении высот волн H_s в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском даны в таблицах 3.4.3 — 3.4.5. Как видно из таблиц, в море Лаптевых и в Восточно-Сибирском море преобладало волнение от 1 до 2 м, а в Чукотском море



преобладало волнение с высотами от 1 до 3 м. Наиболее штормовым месяцем для всех морей стал сентябрь.

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

Наибольшая расчетная высота волн в Восточно-Сибирском море составила 4,0–4,5 м 19 сентября (06, 12 и 18 ч).

Наибольшая расчетная высота волн в Чукотском море составила 4,5 — 5,0 м 19 сентября (06 и 12 ч), что на 1 м выше, чем в 2018 г.

Таблица 3.4.3

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в море Лаптевых в третьем квартале 2019 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0 — 1	1 — 2	2 — 3	3 — 4	4 — 5
Июль	3	17	11	–	–
Август	–	24	7	–	–
Сентябрь	–	3	17	9	1
Итого	3	44	35	9	1

Таблица 3.4.4

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в Восточно-Сибирском море в третьем квартале 2019 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0 — 1	1 — 2	2 — 3	3 — 4	4 — 5
Июль	1	10	1	–	–
Август	3	24	4	–	–
Сентябрь	–	6	16	7	1
Итого	4	40	21	7	1

Таблица 3.4.5

Повторяемость (число дней) различных градаций высоты волн (Hs) в Чукотском море в третьем квартале 2019 г.

Месяц	Высота волн, м				
	0 — 1	1 — 2	2 — 3	3 — 4	4 — 5
Июль	8	12	6	5	–
Август	–	21	8	2	–
Сентябрь	–	4	19	6	1
Итого	8	37	33	13	1

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

Восточно-Сибирское море начало открываться в третьей декаде июля и полностью освободилось ото льда в первой декаде сентября. К середине сентября область чистой воды в Восточно-Сибирском море доходила до 81° с.ш..

Область чистой воды в Чукотском море в конце августа распространилась до 77° с.ш., а к концу сентября до 78° с.ш.

На рисунке 3.4.3, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн H_s для морей восточной Арктики на 06 ч UTC 19 сентября 2019 г.

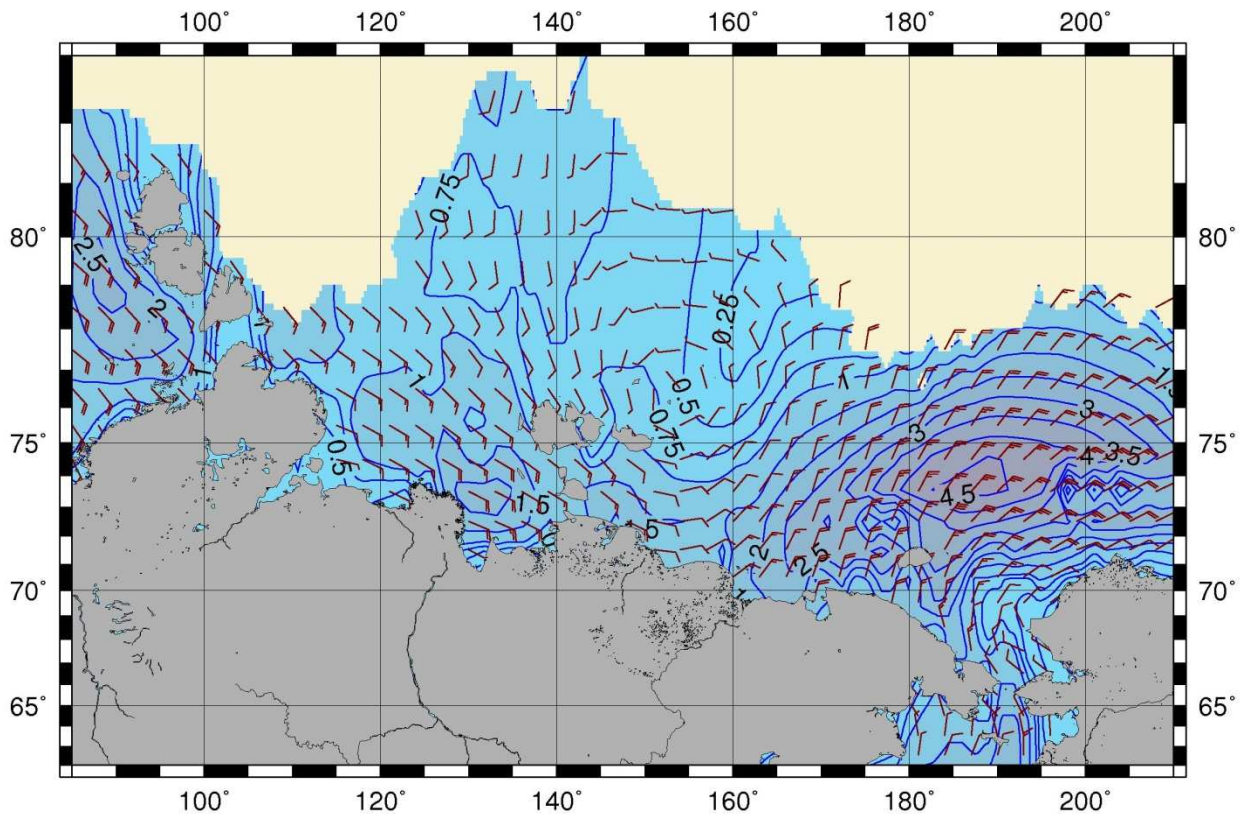


Рис. 3.4.3 — Поле ветра и высот волн (H_s , м) в морях восточной Арктики на 06 ч UTC 19 сентября 2019 г.