

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

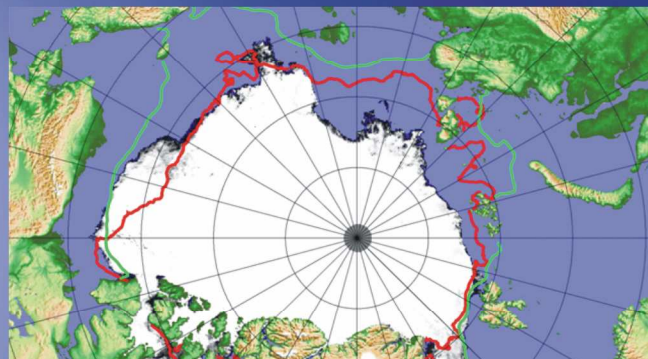


Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический научно-
исследовательский институт

ОБЗОР

гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане

І квартал 2011





СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Метеорологические условия Северной полярной области в январе–марте 2011 г.	4
1.1 Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе северного полушария за период январь–март	4
1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области за период январь–март	18
2 Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях в январе–марте 2011 г.....	25
3 Гидрологические и гидрохимические условия Северного Ледовитого океана и его морей в январе–марте 2011 г.....	39
3.1 Термохалинные условия в Арктическом бассейне по данным дрейфующей станции «Северный полюс–38».....	39
3.2 Уровень арктических морей	44
3.3 Ветровое волнение на акватории арктических морей.....	49
Список литературы	52



ВВЕДЕНИЕ

Настоящий обзор содержит описание особенностей развития метеорологических, ледовых и гидрологических процессов в Северном Ледовитом океане и его морях в первом квартале (январь–март) 2011 г. Фактическая информация для составления обзора получена по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, дрейфующей станции «Северный Полюс–38», проектов Всемирной Метеорологической Организации 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 ГУ «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., рук. группы к.т.н. Налимов Ю.В.).

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.г.н. Ашик И.М.).

Общее руководство и редакция обзора была выполнена директором ГУ «ААНИИ» д.г.н., профессором Фроловым И.Е.

Подготовку и оформление обзора осуществлял вед. инженер отдела ледового режима и прогнозов Сороко С.О.

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



1 Метеорологические условия Северной полярной области в январе–марте 2011 г.

1.1 Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе северного полушария за период январь–март

В данном разделе приводятся основные результаты мониторинга развития атмосферных процессов различного пространственно–временного масштаба и изменений метеорологических условий в полярном районе северного полушария за период с января по март 2011 г.

Полярный район является крайне сложным по метеорологическим условиям. Процессы данного района тесно взаимосвязаны с развитием и перестройками процессов общей циркуляции атмосферы (ОЦА), т.е. процессами значительно более крупного масштаба, чем рассматриваемый район.

Полярный район находится под влиянием трех естественных синоптических районов. На него оказывают влияние основные центры действия атмосферы. На западе в атлантико–евразийском секторе полушария это исландский минимум и азорский максимум, а также азиатский циклон летом и антициклон зимой, на востоке в тихоокеано–американском секторе полушария – алеутский минимум и гавайский максимум.

При анализе и диагнозе крупномасштабных процессов учитывались основные элементы ОЦА: место положения центра планетарного циркумполярного вихря (ПЦПВ) на H_{500} ; географическая ориентация планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ); состояние длинных термобарических волн; развитие стационарных циклонов и антициклонов (центров действия атмосферы) и траектории фронтальных циклонов и антициклонов. Данные элементы ОЦА крайне важны при анализе развития и перестроек атмосферных процессов внутри года и оценке метеорологических процессов в отдельных полярных районах Арктики.

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 Вангенгейма – Гирса.

По данной классификации для атлантико–евразийского сектора полушария выделяется три основных состояния атмосферы: зональные процессы с термобарическими волнами малой амплитуды W (западная) форма циркуляции и два меридиональных процессам с волнами большой амплитуды С (меридиональная) и Е (восточная) формы циркуляции.

В тихоокеано–американском секторе полушария также выделяется три типа процессов: Z – зональный (западный) и два меридиональных – M_1 и M_2 .

Каждая из форм и типов имеет ряд разновидностей, отражающих перестройку от одного



макропроцесса к другому. Разновидности макропроцессов на полушарии имеют значимые отличия в направленности крупномасштабных атмосферных процессов и состоянии основных центров действия атмосферы. При этом для каждой из разновидностей характерна географическая ориентация основных блокирующих гребней антициклонов, влияющих на высокоширотное или низкоширотное по сравнению с нормой траектории циклонов в системах исландского и алеутского минимумов.

Реальное состояние циркуляции в атмосфере и метеорологические условия каждого конкретного года существенно отличаются друг от друга и от среднего многолетнего состояния (нормы). Развитие процессов каждого года указывает на существование большого числа вариантов конкретных реализаций ОЦА. 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 января по март 2011 г. были выявлены следующие особенности.

Число дней с формами (W, C, E) и типами (З, M₁, M₂) по классификации Вангенгейма – Гирса и их отклонения от нормы за период январь–март 2011 г. представлены в табл. 1.1

Таблица 1.1 – Значения числа дней с формами (W, C, E) и типами (З, M₁, M₂) и их отклонения от нормы за период январь–март 2011 г.

Форма	W	C	E	З	M ₁	M ₂
Число дней	35	28	27	36	2	33
Аномалии	4	8	-12	12	-14	2

В рассматриваемый период выделяется ряд стадий с однонаправленным развитием крупномасштабных атмосферных процессов. Схема разновидностей макропреобразований основных форм циркуляции атмосферы с января по март 2011 г. выглядит следующим образом:

Январь – (W + C)₃ → Февраль – E_{M2+3} → Март – (W + C)_{M2}

Для данных форм и типов с однонаправленным развитием крупномасштабных атмосферных процессов были выявлены разновидности этих процессов в первом и во втором секторах северного полушария, отличающиеся высокоширотными и низкоширотными траекториями циклонов. Из приведенной схемы и табл. 1 видно, что в первом – атлантико–евразийском секторе северного полушария преобладали атмосферные процессы западной и меридиональных форм циркуляции при высокоширотных траекториях в системе исландского минимума. Во втором – тихоокеано–американском секторе полушария преобладали зональные



атмосферные процессы и меридиональные типа M_2 при низкоширотных траекториях в системе алеутского минимума.

Для каждого месяца были вычислены средние карты полей геопотенциальной поверхности H_{500} , приземного давления и температуры воздуха и их отклонений от средних многолетних значений (рис. 1.2–1.30). На всех картах географическая ориентация и состояние основных центров действия атмосферы, распределение полей давления и температуры на северном полушарии и Арктики соответствует синоптическому значению той формы и типу циркуляции и их разновидностей, которые преобладали в том или ином месяце рассматриваемого периода года.

Изменения давления в первом квартале 2011 г. представлены в виде кривых накопленных (интегральных) аномалий давления отдельно для европейского, азиатского, американского и приполюсного секторов Арктики на рис. 1. Интегральная кривая идет вверх при положительных значениях аномалий давления, при отрицательных – вниз.

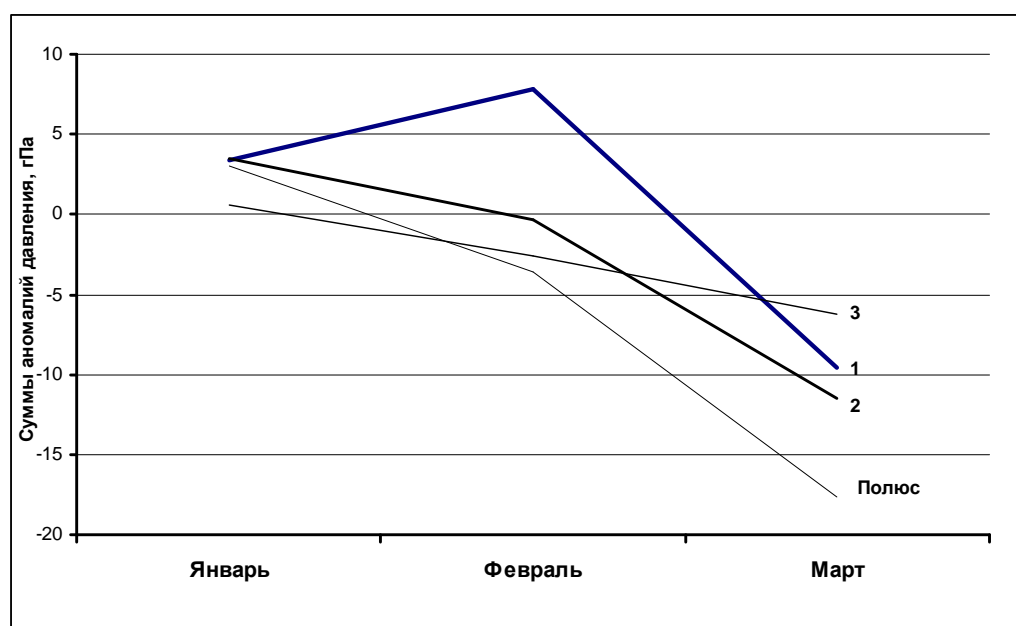


Рисунок 1.1 – Интегральные кривые среднемесячных значений аномалий давления в январе–марте 2011 г. в европейском (1), азиатском(2), американском(3) и приполюсном секторах полярного района Арктики

В приземном поле полярного района в первом квартале 2011 г. отмечалось тенденция к пониженный по сравнению с нормой фона давления. Частое влияние на приполюсный район и атлантико–евразийский сектор Арктики глубоких циклонов, обусловило преобладание здесь крупных отрицательных аномалий давления.

Основные фоновые особенности развития и перестроек синоптических процессов для каждого месяца за период с января по март 2011 г. описаны ниже.



В январе центр циркумполярного вихря (ЦПВ) на H_{500} располагался в приполюсном районе Арктики, основные ложбины которого была ориентирована на район Канадского Арктического архипелага и район моря Лаптевых

Восточный район Арктики находился под влиянием высотного гребня, под которым в приземном поле давления преобладал антициклональный режим циркуляции.

В первом (атлантико–евразийском) секторе отмечалось сочетание крупномасштабные процессы западной и меридиональной форм циркуляции. Под влиянием на Северную Атлантику гребня арктического антициклона циклоны в системе исландского минимума смещались низкоширотными траекториями с запада на восток по европейской территории. Далее их продвижение было блокировано гребнем азиатского антициклона. Фон давления выше нормы. Воздушные потоки преимущественно юго–западных и юго–восточных направлений обусловили частую адвекцию теплых воздушных масс. Фон температуры был выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры со значениями до 8–9 °С отмечались в районе Таймыра и гренландского сектора Арктики.

Во втором (тихоокеано–американском) секторе аномально повышенную повторяемость имели крупномасштабные процессы типа 3. Характерной особенностью развития макропроцессов явилось усиление американского антициклона. Его гребень часто оказывал влияние на восточный район Арктики, где он часто взаимодействовал с гребнем азиатского антициклона. Вследствие этого циклоны в системе алеутского минимума смещались по сравнению с нормой низкоширотными траекториями и не оказывали влияния на полярный район Арктики. Фон давления был выше нормы на 2–4 гПа. Атлантические циклоны при высокоширотных траекториях обусловили адвекцию теплых воздушных масс с юго–западной составляющей. Средние месячные значения положительных аномалий температуры достигали значений более 14 °С в районе канадского сектора Арктики.

В феврале произошла резкая перестройка в направленности крупномасштабных атмосферных процессов над северным полушарием. Знак деформационного барического поля в большинстве районов северного полушария сменился на противоположный, по сравнению с предыдущим месяцем.

В полярном районе Арктики центр ЦПВ на геопотенциальной поверхности H_{500} сместился в район Канады. Западный район Арктики находился под влиянием высотного гребня. Над Северной Атлантикой ось высотного гребня азорского антициклона была ориентирована на Европу и приатлантический сектор Арктики. Вследствие этого западно–восточный воздушный поток в средней тропосфере в Арктику был блокирован.



В первом секторе преобладали процессы восточной формы циркуляции. В приземном поле под устойчивым влиянием с запада и востока на континентальную Европу гребней азорского и азиатского антициклонов циклоны Северной Атлантики смещались в меридиональном направлении в Арктику по сравнению с нормой высокоширотными траекториями. Фон давления в приполюсном районе был ниже нормы на 4–8 гПа. Воздушные потоки преимущественно южных и юго–западных направлений обусловили устойчивую во времени адвекцию теплых воздушных масс. Фон температуры был выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры со значениями до 8–9 °С отмечались в районе Восточного побережья Гренландии.

Во втором секторе от января к февралю произошла крупномасштабная перестройка атмосферных процессов от зонального типа с низкоширотными траекториями циклонов к меридиональному типу M_2 . Под частым влиянием на район Берингова моря с юго–востока блокирующих гребней гавайского антициклона циклоны в системе алеутского минимума сериями смещались по сравнению с нормой преимущественно высокоширотными траекториями и оказывали влияния на полярный район Арктики. Фон давления был ниже нормы на 6–8 гПа. Тихоокеанские циклоны при высокоширотных траекториях обусловили адвекцию теплых воздушных масс с юго–западной составляющей. Средние месячные значения положительных аномалий температуры достигали значений более 10 °С в районе Берингова пролива.

В марте центр ЦПВ на H_{500} располагался в западном секторе Арктики, основные ложбины которого были ориентированы на районы Баффинова моря и центральную часть азиатского континента.

В первом секторе в течение месяца отмечались частые перестройки атмосферных процессов от одной формы циркуляции к другой. преобладали зональные процессы восточной E формы циркуляции. В приземном поле под влиянием над югом Евразии гребней азиатского и азорского антициклонов циклоны Северной Атлантики смещались в зональном направлении с запада на восток в Арктику по сравнению с нормой высокоширотными траекториями. Фон давления в евразийском секторе Арктики был значительно ниже нормы, а на севере Баренцева и Карского морей аномалии достигали значений более 20 гПа. Воздушные потоки преимущественно юго–западных и юго–восточных направлений обусловили устойчивую во времени адвекцию теплых воздушных масс. Фон температуры был выше нормы. Наиболее крупные положительные аномалии среднемесячной температуры со значениями до 8–10 °С отмечались в районе Карского моря.

Во втором секторе аномально повышенную повторяемость имели крупномасштабные процессы типов M_2 . Характерной особенностью развития макропроцессов явилось усиление



американского антициклона, гребень которого часто оказывал влияние на Берингово море. Вследствие этого циклоны в системе алеутского минимума смещались по сравнению с нормой низкоширотными траекториями и не оказывали влияния на полярный район Арктики. Фон давления был ниже нормы на 2–8 гПа. Атлантические циклоны при высокоширотных траекториях обусловили адвекцию теплых воздушных масс с южной составляющей. Средние месячные значения положительных аномалий температуры достигали значений более 8 °С.

Структурные особенности развития и перестроек атмосферных процессов внутри каждого месяца в период январь–март 2011 г. представлены по элементарным синоптическим процессам (ЭСП) в табл. 2.

Таблица 1.2 – Каталог макросиноптических процессов по классификации Г.Я. Вангенгейма–А.А. Гирса с января по март 2011 г. с внутримесячной детализацией атмосферных процессов по элементарным синоптическим процессам

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

Примечания

1 ЭСП – элементарный синоптический процесс;

2 А–Е – атлантико–европейский сектор полушария;

3 Т–А – тихоокеано–американский сектор полушария.

4 В скобках среднемесячные аномалии числа дней с формами (W, С, Е) и типами (3, M₁, M₂) атмосферной циркуляции.

Изменения ЭСП сопровождалась сменой знака барических полей и направлением преобладающих воздушных потоков в полярном районе Арктики при крупномасштабных перестройках атмосферной циркуляции северного полушария. Структурные особенности процессов внутри каждого месяца согласуются с выявленными фоновыми крупномасштабными особенностями в направленности развития атмосферных процессов в период с января по март 2011 г.

Обобщая данные мониторинга развития и перестроек крупномасштабных атмосферных процессов и характера их проявления в метеорологических условиях полярного района Арктики за период январь–март 2011 г., можно сделать следующие выводы:

1. Под влиянием процессов блокирования и длинных термобарических волн от месяца к месяцу изменялась структура циркумполярного вихря, система тропосферных высотных фронтальных зон (ВФЗ), что определило траекторий циклонов в системе исландского и алеутского минимумов.

2. В первом (атлантико–евразийском) сектора полушария в первом квартале преобладали разновидности процессов с высокоширотными траекториями циклонов, которые обусловили формирование крупных отрицательных аномалий давления в полярном районе Арктики.

3. Во втором (тихоокеано–американском) секторе преобладали низкоширотные траектории циклонов и они не оказывали своего существенного влияния на полярный район Арктики.

4. В среднем за период январь–март в полярном районе Арктики преобладала адвекция теплых воздушных масс и положительные аномалии температуры воздуха.

5. Несмотря на сохранение высоких значений положительных аномалий температуры воздуха в Арктике развитие атмосферных процессов в первом квартале в 2011 г. отличалось от направленности процессов двух последних лет. По направленности процессов 2011 год аналогичен процессам однородной циркуляционной стадии 2004–2008 гг., когда в этот период года также преобладали зональные процессы западной формы циркуляции с высокоширотными траекториями циклонов в системе исландского минимума Северной Атлантики.

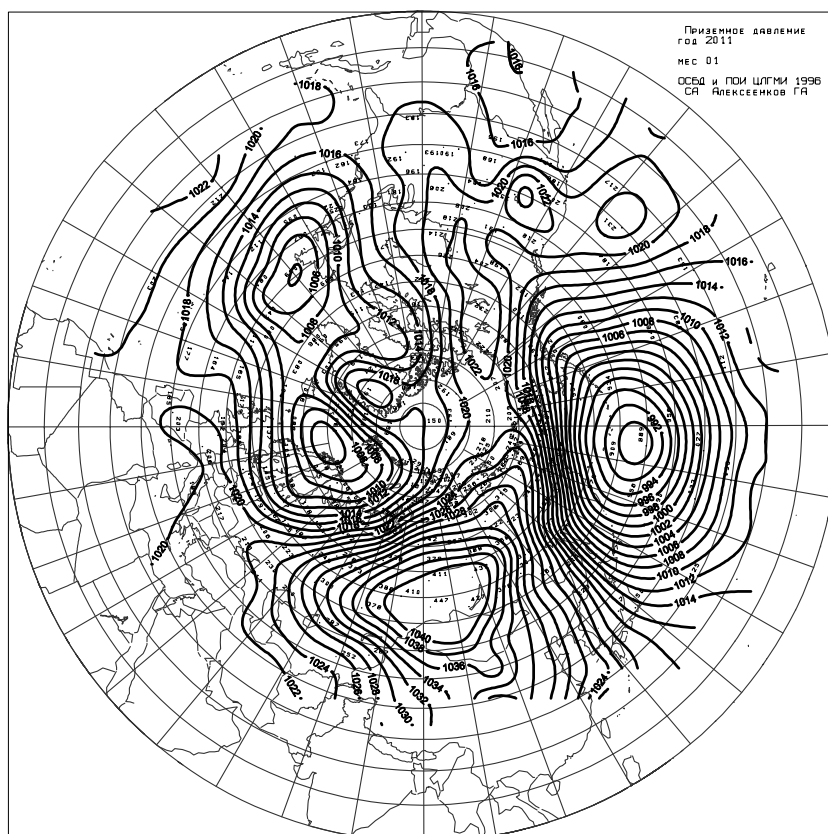


Рисунок 1.2 – Среднее месячное приземное давления за январь 2011 г.

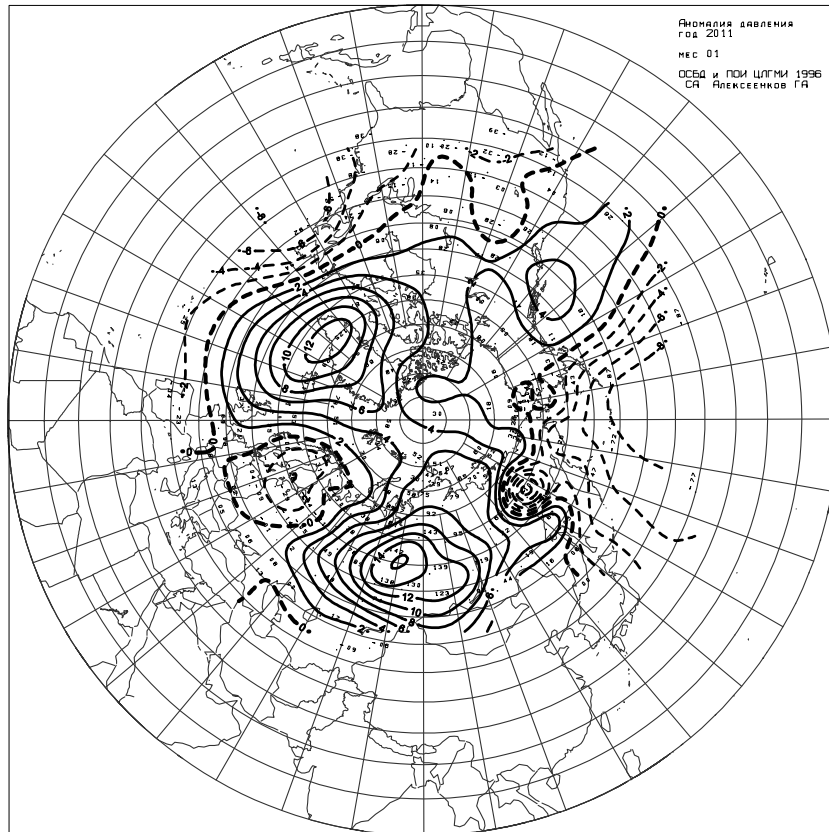


Рисунок 1.3 – Средние месячные аномалии приземного давления за январь 2011 г.

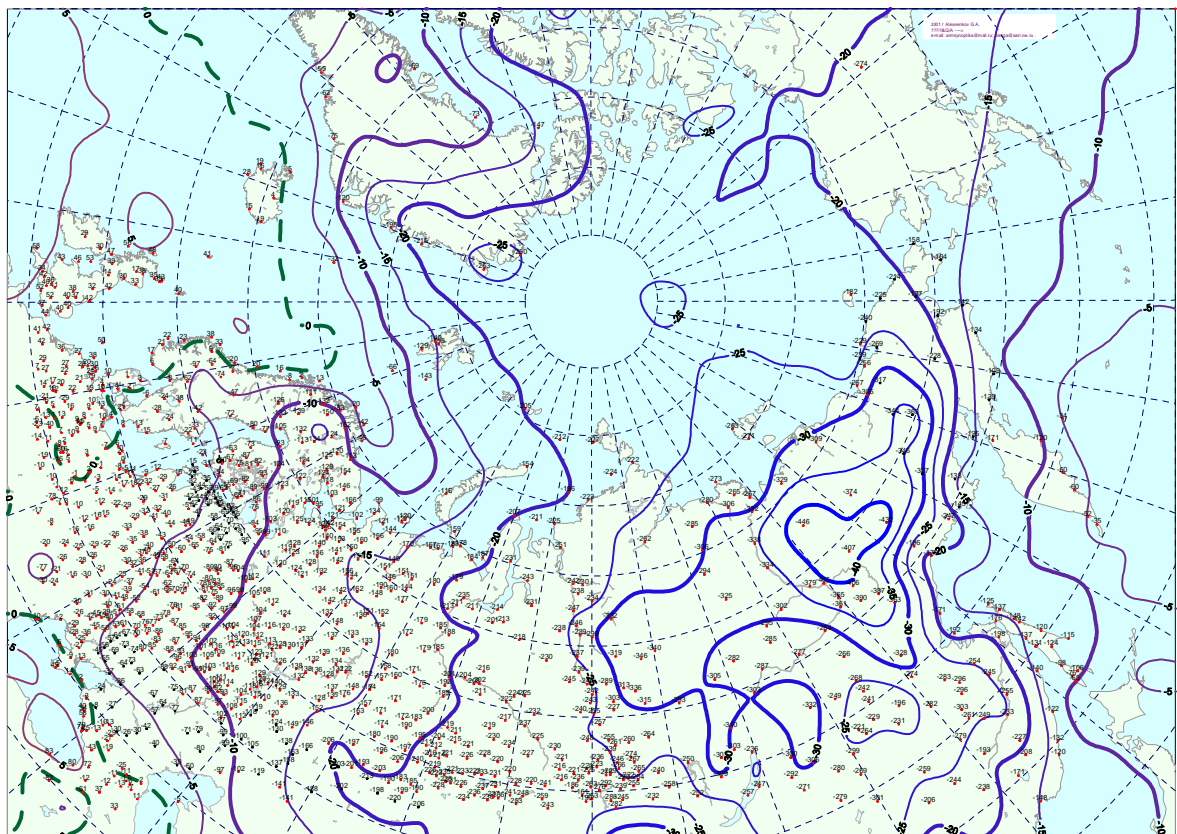


Рисунок 1.4 – Средние месячные приземные температуры воздуха за январь 2011 г.

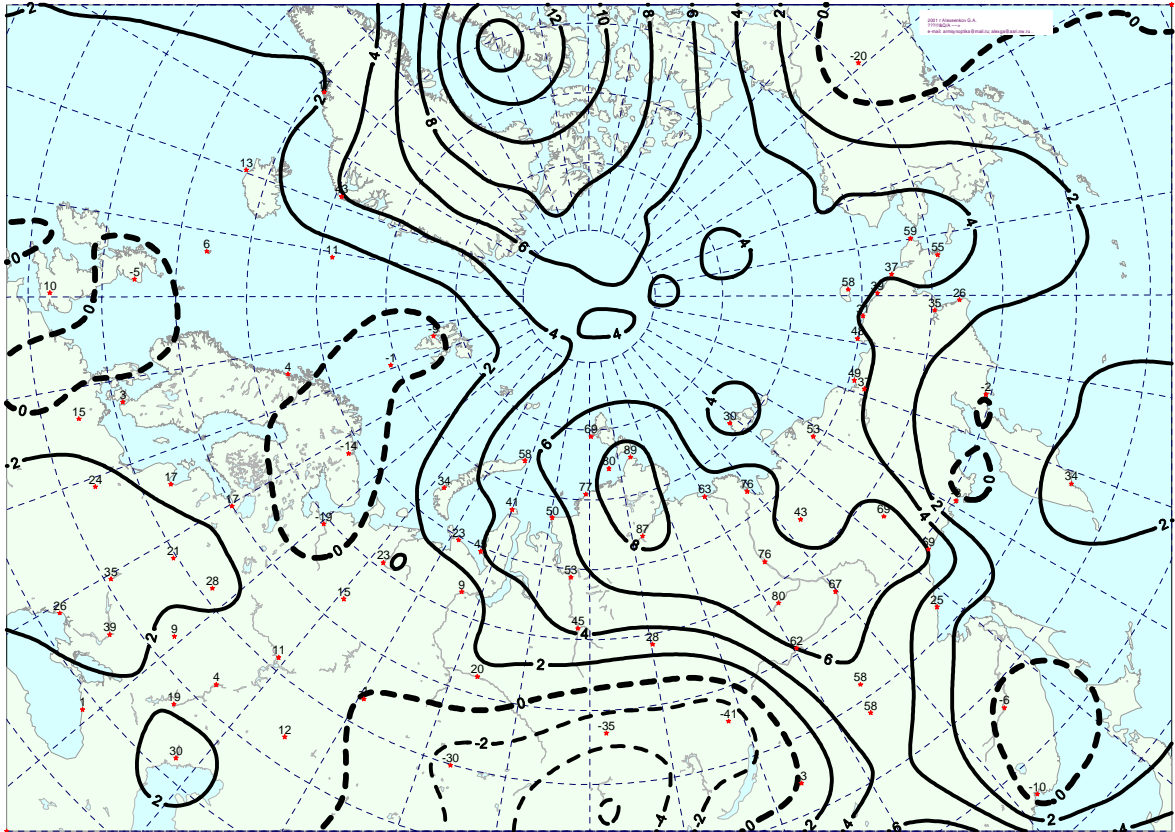


Рисунок 1.5 – Средние месячные аномалии приземной температуры воздуха за январь 2011 г.

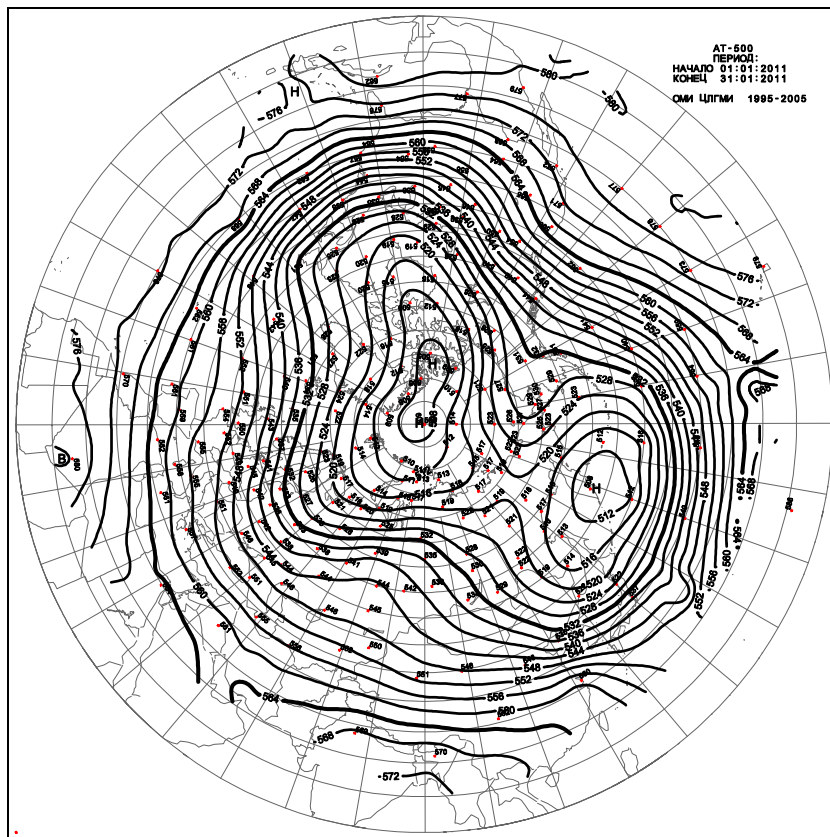


Рисунок 1.6 – Средняя месячная карта изобарической поверхности 500 гПа за январь 2011 г.

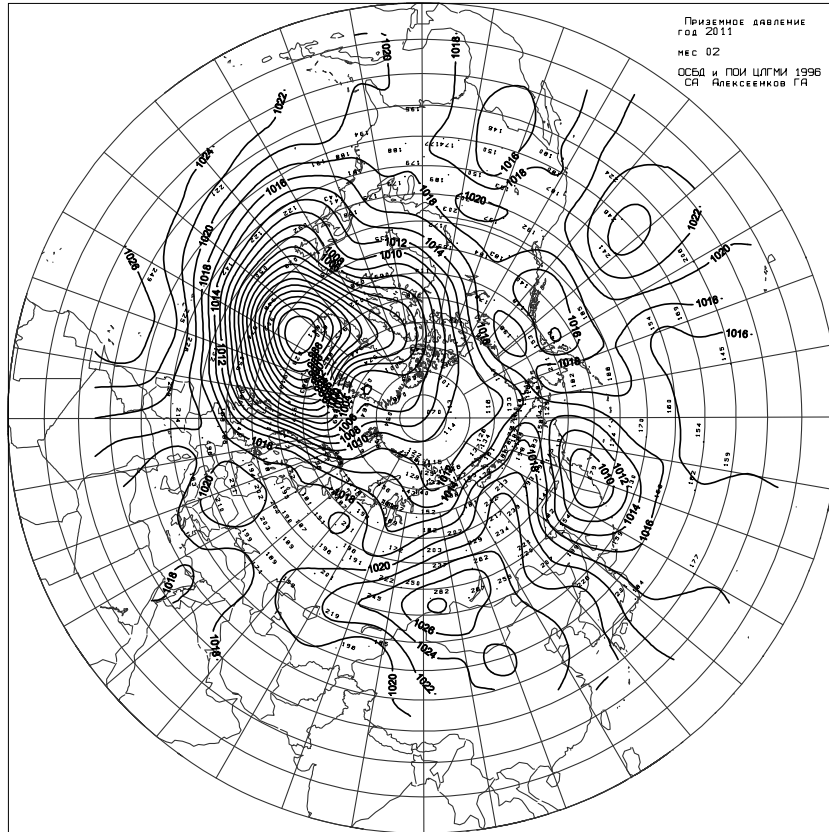


Рисунок 1.7 – Среднее месячное приземное давления за февраль 2011 г.

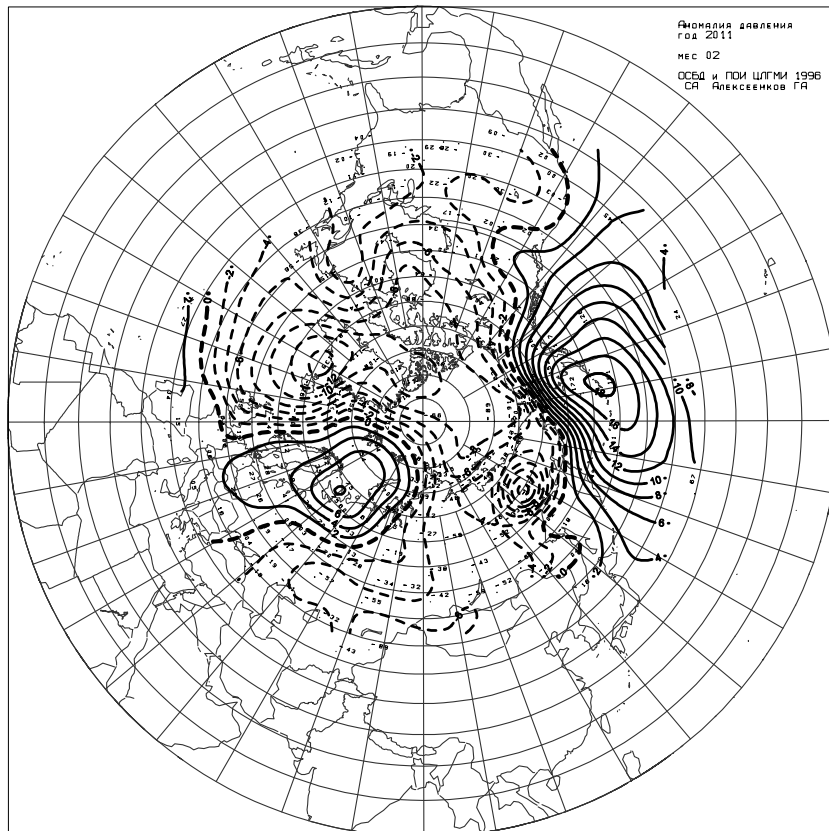


Рисунок 1.8 – Средние месячные аномалии приземного давления за февраль 2011 г.

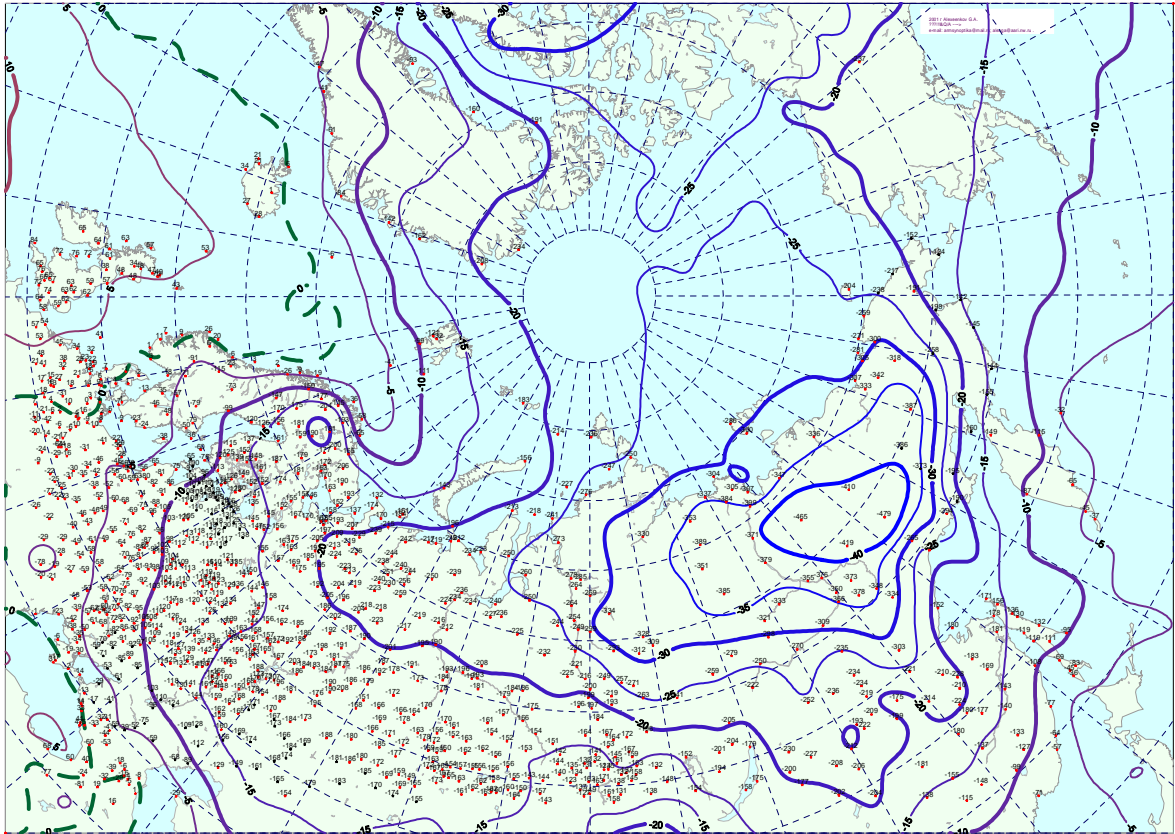


Рисунок 1.9 – Средние месячные приземные температуры воздуха за февраль 2011 г.

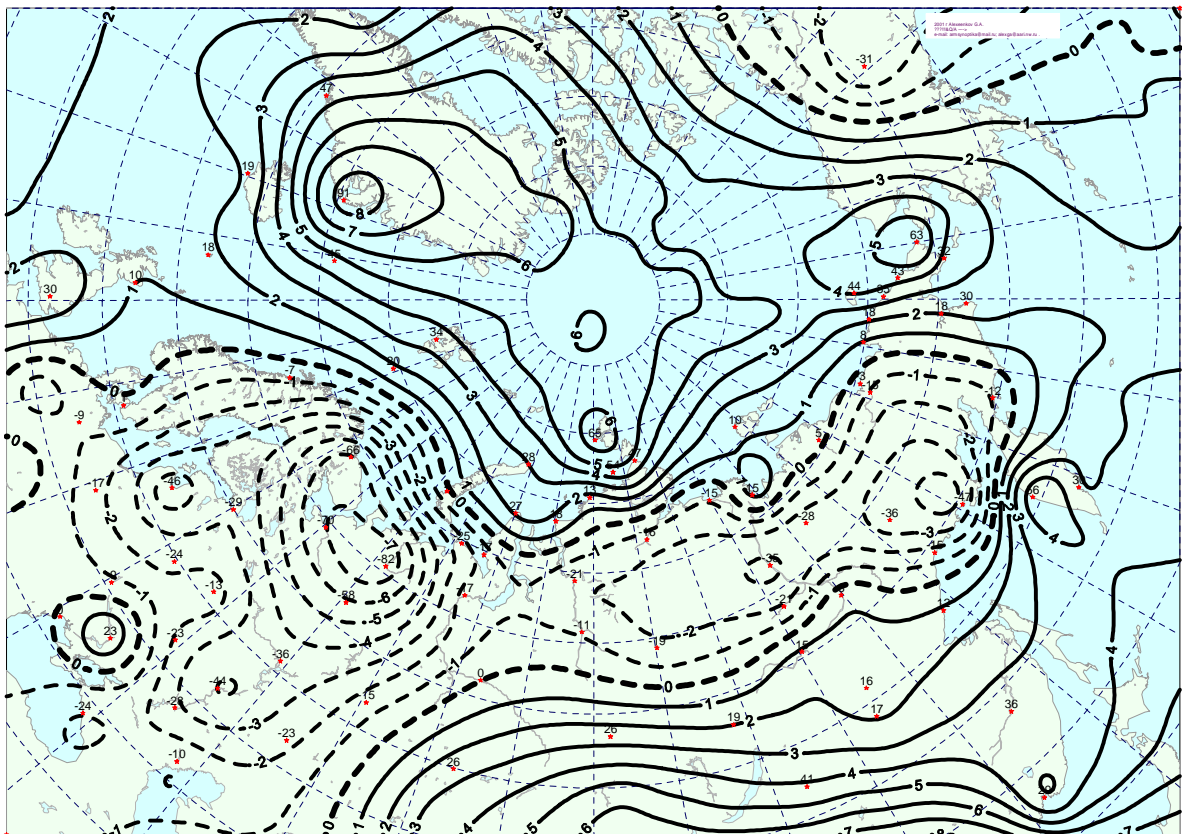


Рисунок 1.10 – Средние месячные аномалии приземной температуры воздуха за февраль 2011 г.

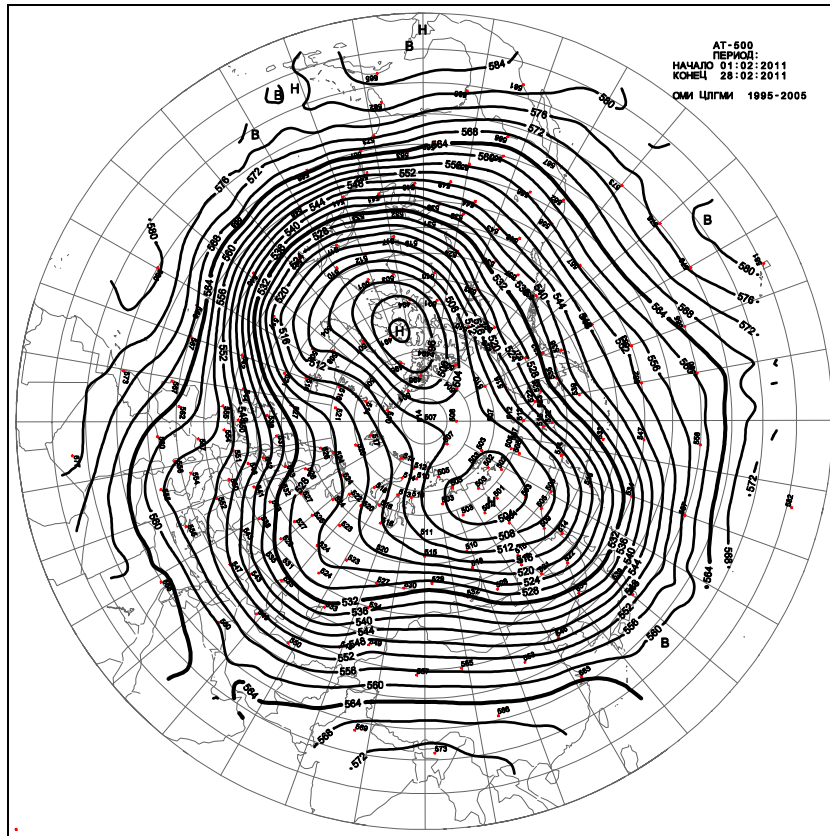


Рисунок 1.11 – Средняя месячная карта изобарической поверхности 500 гПа за февраль 2011 г.

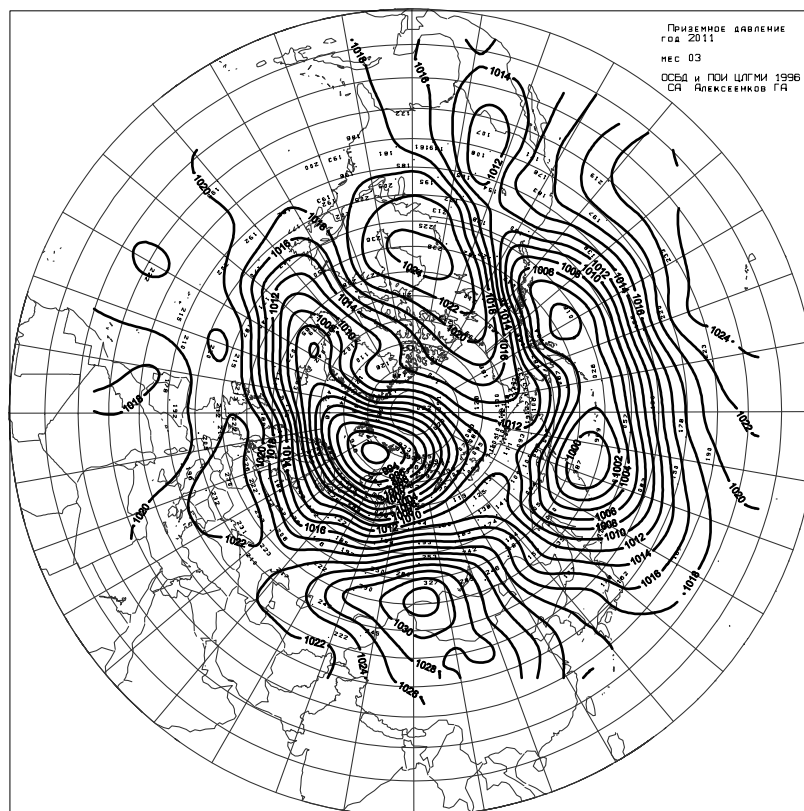


Рисунок 1.12 – Среднее месячное приземное давления за март 2011 г.

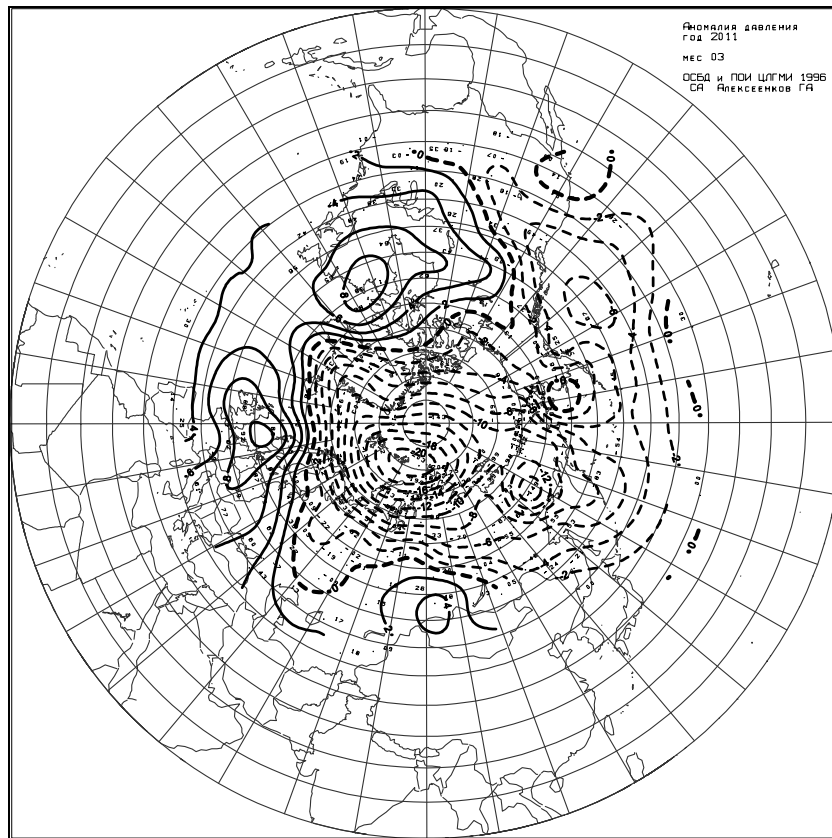


Рисунок 1.13 – Средние месячные аномалии приземного давления за март 2011 г.

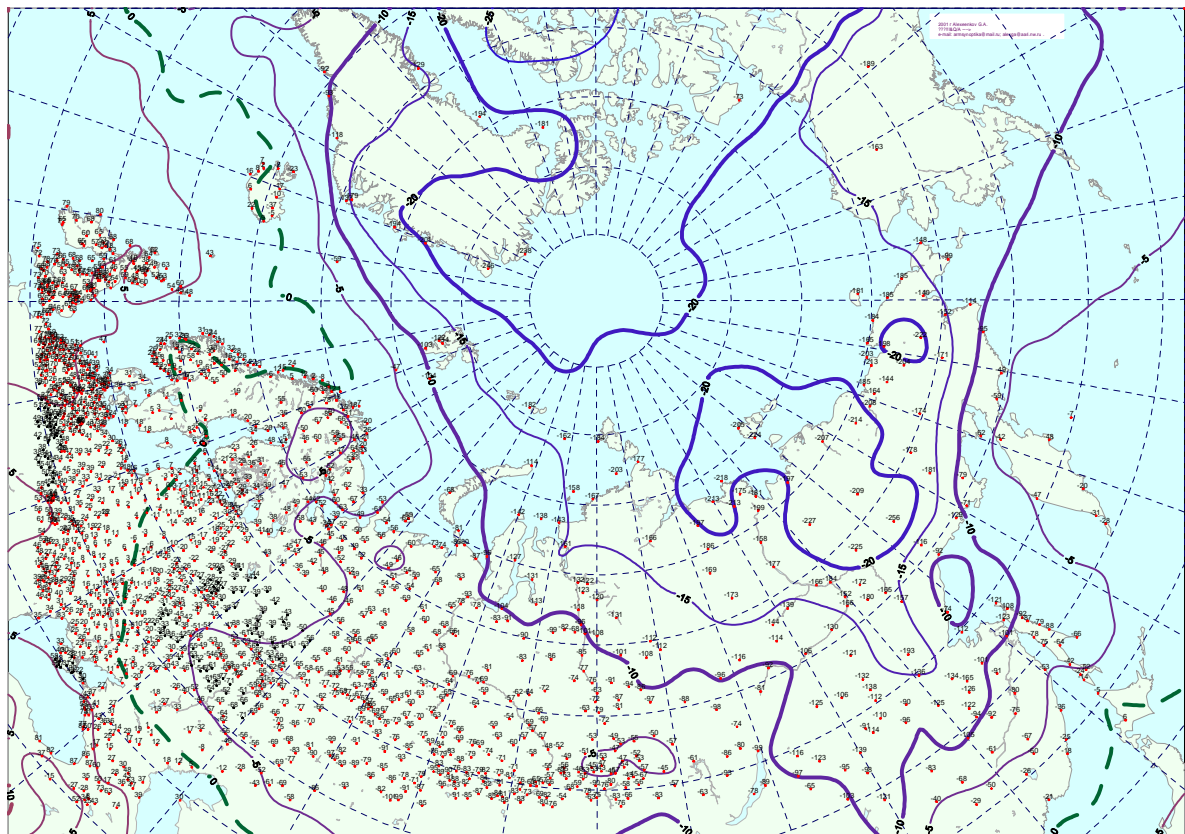


Рисунок 1.14 – Средние месячные приземные температуры воздуха за март 2011 г.

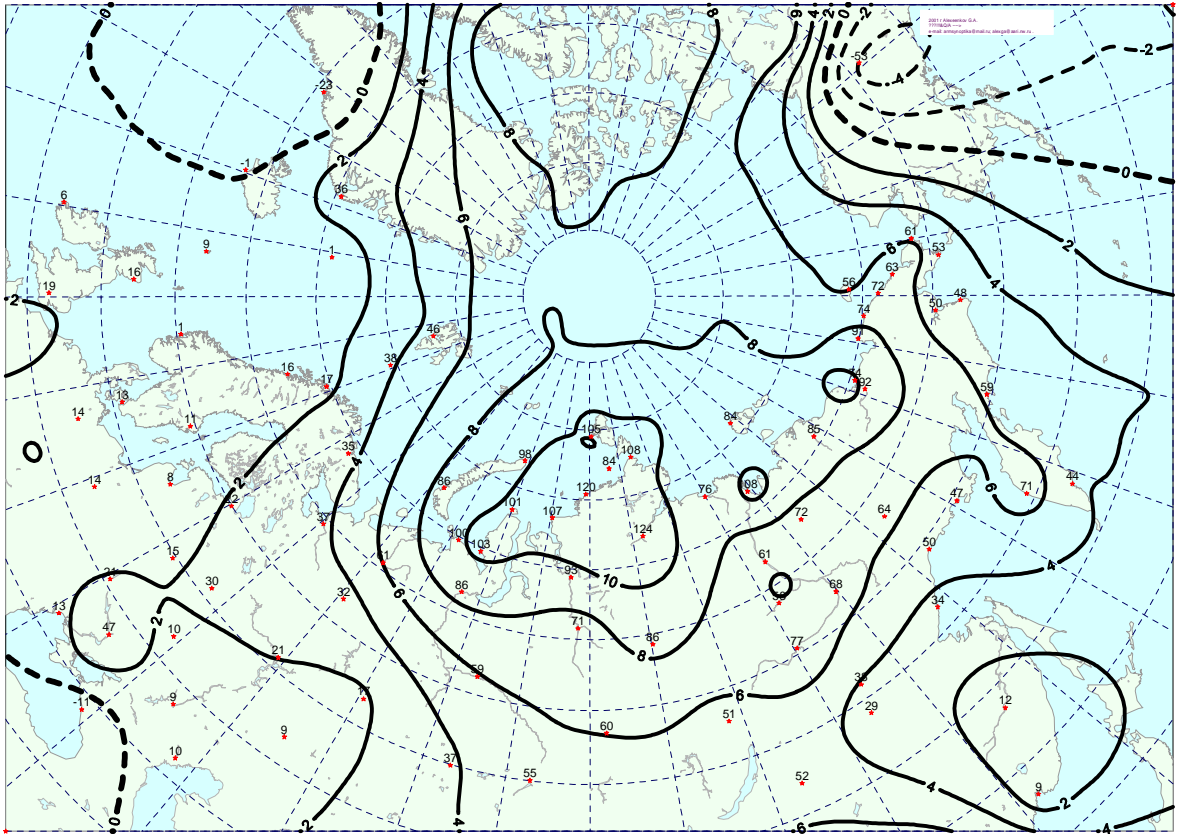


Рисунок 1.15 – Средние месячные аномалии приземной температуры воздуха за март 2011 г.

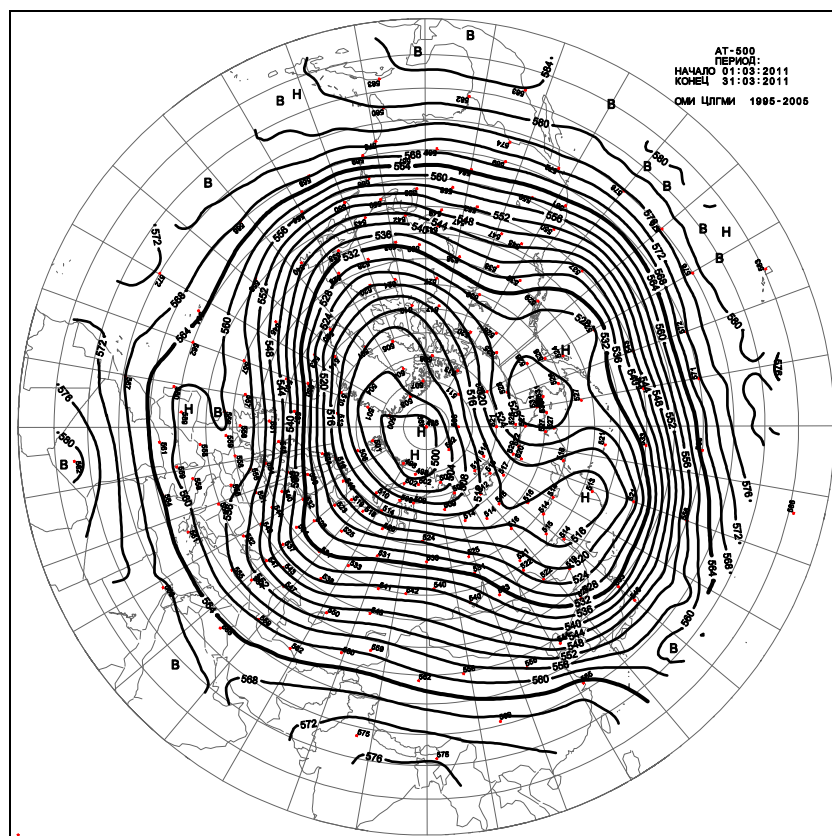


Рисунок 1.16 – Средняя месячная карта изобарической поверхности 500 гПа за март 2011 г.

1.2 Мониторинг метеорологических параметров в Северной полярной области за период январь–март

В настоящем разделе приводятся оценки изменения температуры воздуха в Северной полярной области (СПО) и районах арктических морей за зимний сезон 2010/2011 г.

Исходными данными послужили данные наблюдений 250 стационарных метеорологических станций (рис. 1.17), а также данные, поступившие с дрейфующей станции СП–38 и дрейфующих буев МПАБ, которые позволили уточнить значения температуры воздуха в околополюсном районе [1–4].

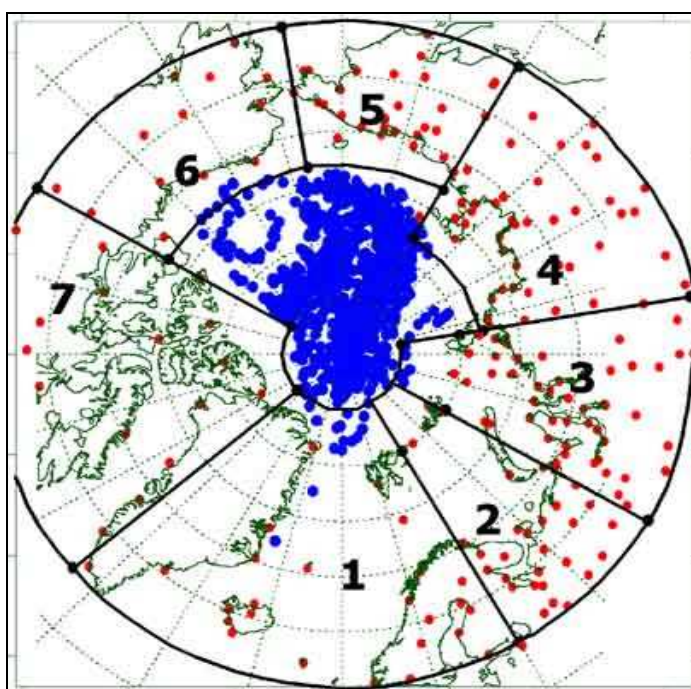


Рисунок 1.17 – Сеть метеорологических станций и границы районов в северной полярной области (1 – Атлантический; 2 – Североευропейский; 3 – Западносибирский; 4 – Восточносибирский; 5 – Чукотский; 6 – Аляскинский; 7 – Канадский)

Основным методом получения пространственно осредненных по территории Северной полярной области и территориям климатических районов (рис. 1.17) аномалий температуры воздуха является метод оптимальной интерполяции и оптимального осреднения [5]. Приводимые оценки аномалий температуры были получены относительно рекомендованного ВМО стандартного периода 1961–1990 гг. В качестве зимнего сезона рассматривался период с декабря 2010 г. по февраль 2011 г.

Оценка аномалий средней температуры воздуха за зимний сезон 2010/11 гг. по отдельным широтным зонам представлена в табл. 1.3. В целом по широтной зоне 60–85° с.ш. аномалия температуры воздуха составила 1,8 °С. Зима 2010/11 гг. в СПО стала одиннадцатой теплой зимой



по рангу теплых лет за период с 1936 г. К северу от 70° с.ш., в широтной зоне 70–85° с.ш., зимний сезон оказался четвертым теплым сезоном по рангу теплых лет с аномалией температуры 3,4 °С. К югу от 70° с.ш., в широтной зоне 60–70° с.ш., прошедший зимний сезон стал двадцать пятым по рангу теплых лет с аномалией 0,8 °С за период с 1936 г.

Таблица 1.3 – Аномалии средней температуры воздуха за зимний сезон 2010/11 г. отдельных широтных зон, °С

Широтная зона, ° с.ш.	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)
70–85	3,4	4	2006 (4,1)
60–70	0,8	25	2008 (2,4)
60–85	1,8	11	1937 (2,7)

Сопоставление значений пространственно осредненных по территориям климатических районов аномалий температуры воздуха в зимнем сезоне 2010/11 гг. обнаружило несколько очагов крупных положительных аномалий. Наиболее крупная аномалия температуры воздуха в зимнем сезоне 2010/11 г. имела место в североамериканском секторе на территории Канадского района. Значение пространственно осредненной по территории района аномалии составило 4,3 °С (табл. 1.4). Для Канадского района прошедшая зима оказалась второй теплой зимой с 1936 г. Два других очага крупных положительных аномалий температуры располагались в атлантико–евразийском секторе: в Атлантическом и Чукотском районах. Для этих районов прошедший зимний сезон оказался третьим по рангу теплых лет. Значение пространственно осредненной по территории каждого из районов аномалии температуры составило соответственно 2,7 и 3,0 °С.

Таблица 1.4 – Аномалии средней температуры воздуха за зимний сезон 2010/11 г. для отдельных районов СПО, °С

Климатический район	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)
Атлантический	2,7	3	2006 (3,6)
Североевропейский	–0,6	56	1937 (6,5)
Западносибирский	1,0	32	1937 (7,3)
Восточносибирский	0,9	28	1989 (4,1)
Чукотский	3,0	3	1938 (3,8)
Аляскинский	1,2	26	2001 (6,5)
Канадский	4,3	2	2010 (5,0)

На метеорологических станциях в районах арктических морей и на территории суши севернее 70° с.ш., а также в североамериканском секторе и в восточной части азиатского отмечались только положительные аномалии температуры воздуха (рис. 1.18). Крупные аномалии



наблюдались в северной части Гренландского и Норвежского морей, районах Восточно-Сибирского, Чукотского морей и моря Бофорта.

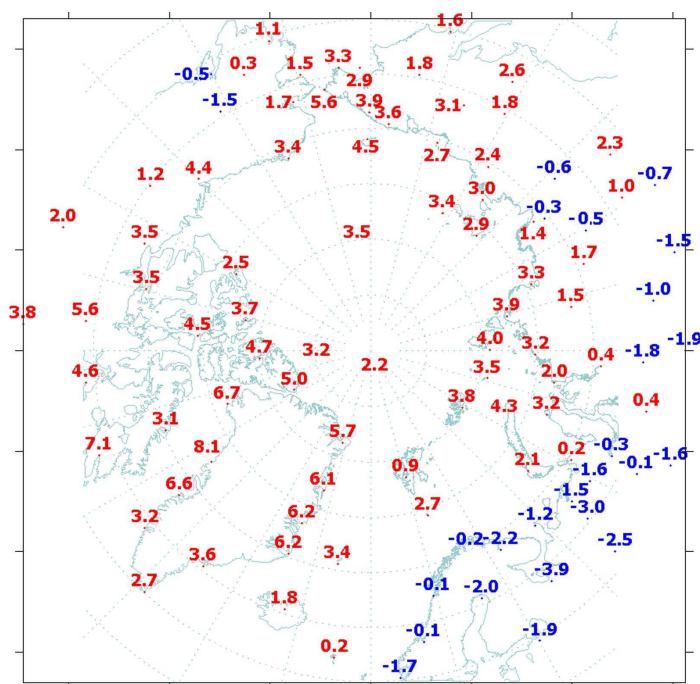


Рисунок 1.18 – Значения аномалий средней температуры воздуха зимнего сезона 2010/11 г. на станциях Северной полярной области, °С

Самые высокие значения положительных аномалий наблюдались на станциях в северной части Канадского района. Здесь значение пространственно осредненной аномалии температуры воздуха составило 5,0 °С (табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Аномалии (отклонение от нормы за 1961–1990 гг.) средней температуры воздуха за зимний сезон 2010/11 гг. для районов севернее 70° с.ш., °С

Море, часть климатического района	Аномалия	Ранг аномалии	Наиболее теплый год (аномалия)
Северная часть Гренландского и Норвежского	4,4	3	2006 (5,4)
Баренцево	1,5	38	1937 (7,6)
Карское	2,8	21	1945 (9,8)
Лаптевых	2,8	11	1937 (4,5)
Восточно-Сибирское	3,3	2	1938 (4,9)
Чукотское	4,6	2	1938 (5,7)
Бофорта	3,2	6	2006 (5,4)
Северная часть Канадского района	5,0	2	2010 (5,0)

Временные ряды пространственно осредненных аномалий средней за зимний сезон температуры воздуха для отдельных районов широтной зоны 60–85 °с.ш. представлены на рис. 1.19, а для районов арктических морей на рис. 1.20.

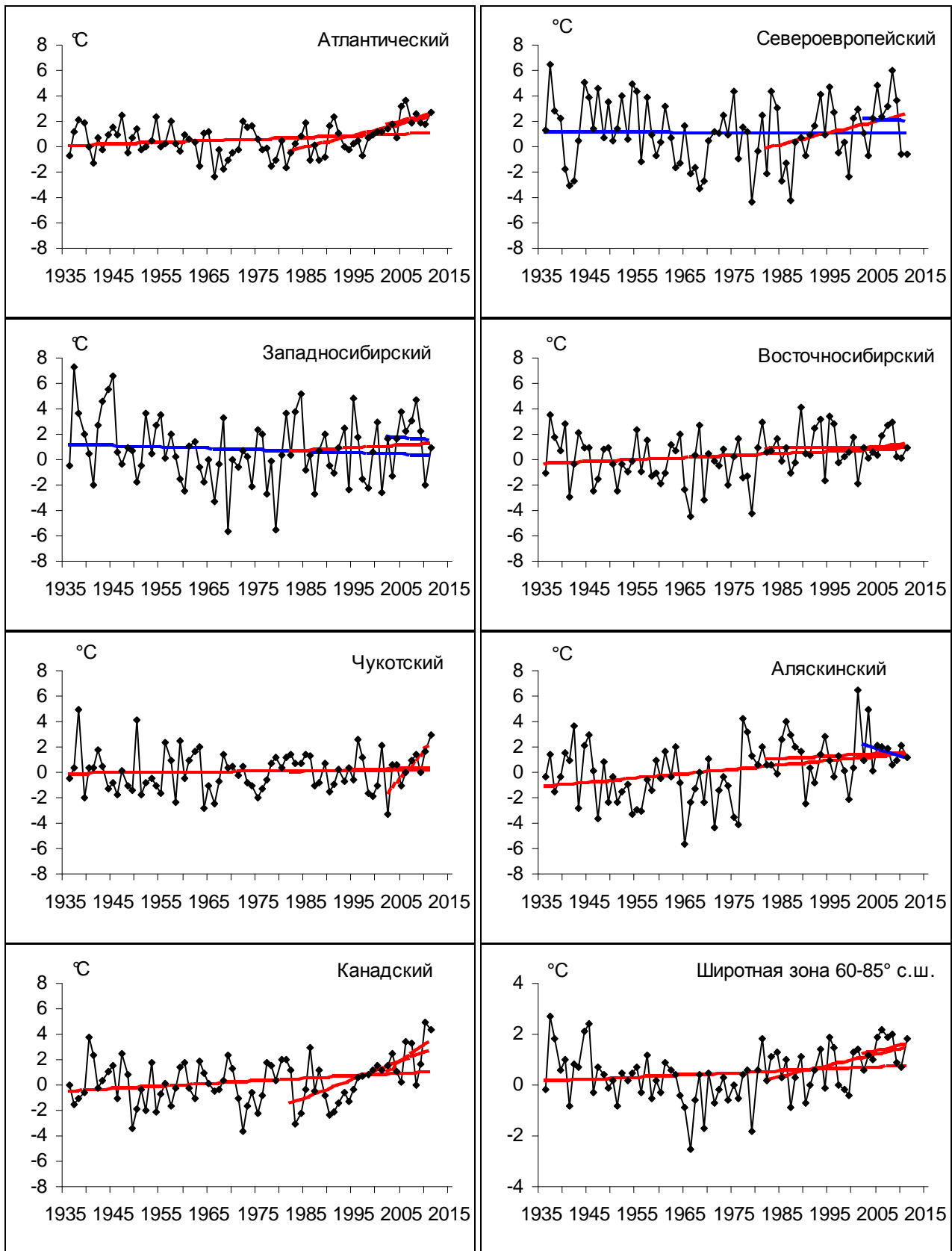


Рисунок 1.19 – Временные ряды аномалий средней за зимний сезон температуры воздуха, °C

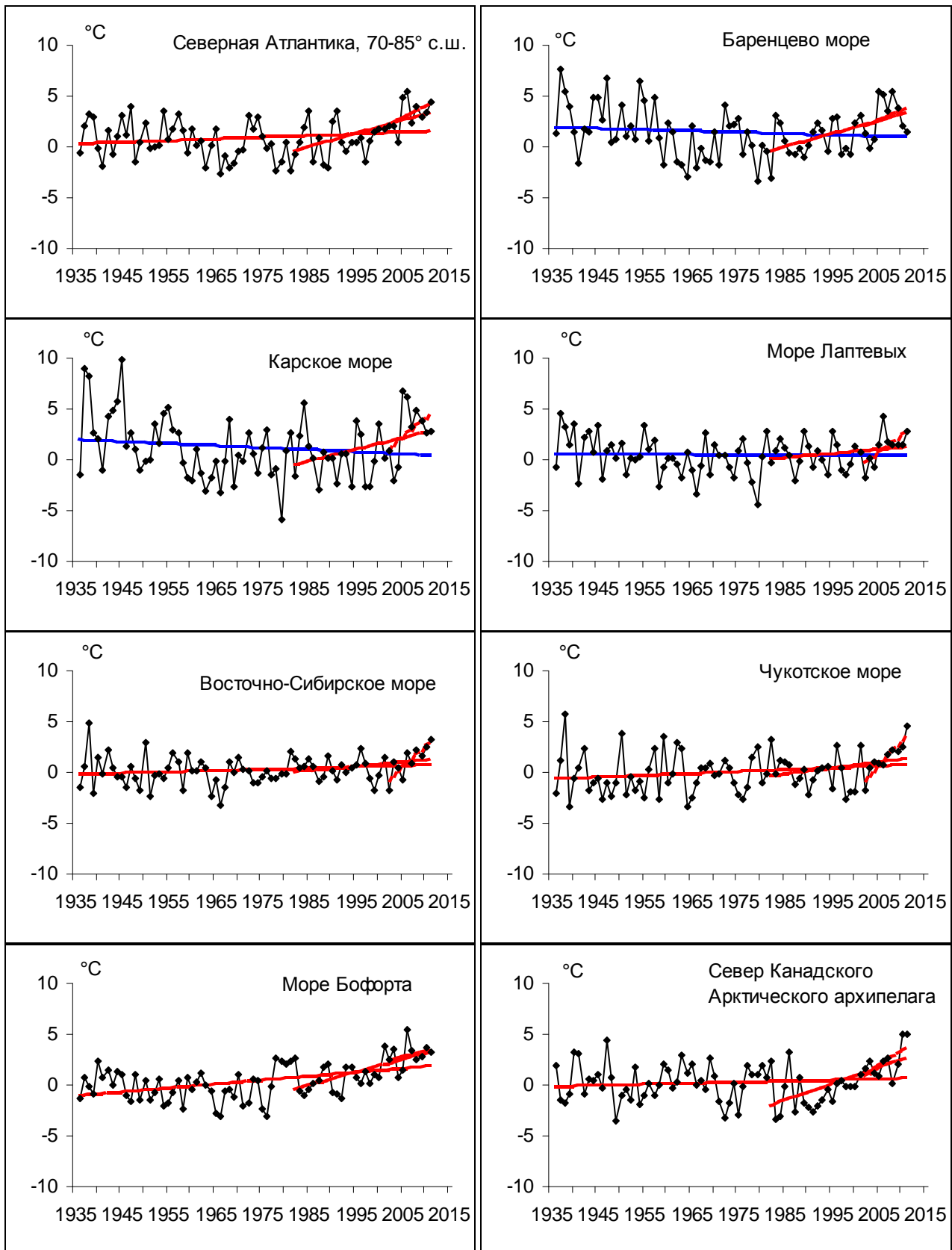


Рисунок 1.20 – Временные ряды аномалий температуры воздуха за зимний сезон, °C



Оценка линейного тренда средней температуры воздуха за зимний сезон СПО и отдельных широтных зон за период с 1936 по 2011 гг. показала наличие статистически значимого положительного линейного тренда только для широтной зоны 60–70° с.ш. (на 5–% уровне значимости) (табл. 1.6). Для отдельных климатических районов значимый тренд средней за зимний сезон температуры прослеживается в Восточносибирском (на 10–% уровне значимости) и Аляскинском (на 5–% уровне значимости) районах, где он соответственно равен 0,16 и 0,34 °C/10 лет (потепление составило 1,2 и 2,6 °C за 76 лет).

В последнем тридцатилетнем периоде статистически значимое повышение температуры составило: в широтной зоне 70–85° с.ш. 3,1 °C/30 лет (на 5–% уровне значимости) и широтной зоне 60–85° с.ш. 1,3 °C/30 лет (на 5–% уровне значимости). Наиболее заметно потепление в последнем тридцатилетии наблюдается в районах атлантического сектора Арктики, а также в Канадском районе.

Холодные зимние сезоны последних нескольких лет сказались на десятилетних трендах в Североевропейском, Западносибирском и Аляскинском районах. Здесь отмечаются отрицательные тренды. Кроме этого, в последнем десятилетнем периоде также можно указать на противоположные тенденции в изменениях температуры к северу (повышение) и к югу (понижение) от 70° с.ш.

Таблица 1.6 – Коэффициенты линейного тренда средней за зимний сезон температуры воздуха отдельных районов

Район, широтная зона	1936/37–2010/11		1982/83–2010/11		2002/03–2010/11	
	Bx	D	Bx	D	Bx	D
Атлантический	0,13	22,6	0,91	64,4	0,86	30,1
Североевропейский	–0,02	1,4	0,91	32,1	–0,19	2,5
Западносибирский	–0,11	9,8	0,21	7,8	–0,28	4,1
Восточносибирский	0,16	19,6	0,06	3,4	0,42	11,7
Чукотский	0,04	5,2	0,13	8,1	4,23	75,3
Аляскинский	0,34	33,2	0,20	9,4	–1,10	24,6
Канадский	0,20	25,2	1,46	65,1	2,70	48,2
70–85° с.ш.	0,05	8,9	1,02	66,4	3,06	70,4
60–70° с.ш.	0,13	27,1	0,20	18,5	–0,76	27,0
60–85° с.ш.	0,08	18,1	0,44	45,6	0,41	20,9

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

Второй столбец – вклад тренда в полную дисперсию D %;

Жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды

В районах арктических морей положительный линейный тренд прослеживается по всем морям с последнего 30–ти летнего периода (табл. 1.7). Наиболее стремительно повышение температуры происходит в северной части Гренландского и Норвежского морей, а также в районе



Баренцева моря и северной части Канадского района. За 30–летний период повышение зимней температуры воздуха в этих частях СПО составило около 4 °С/30 лет.

Таблица 1.7 – Коэффициенты линейного тренда средней за зимний сезон температуры воздуха районов арктических морей

Море, часть моря, территория суши	1936/37–2010/11		1982/83–2010/11		2002/03–2010/11	
	Bx	D	Bx	D	Bx	D
Северная часть Гренландского и Норвежского	0,17	19,1	1,30	57,7	2,26	45,7
Баренцево	-0,13	12,0	1,27	53,1	1,90	27,7
Карское	-0,20	14,8	1,14	36,2	3,85	41,4
Лаптевых	-0,03	03,8	0,40	23,3	3,50	62,1
Восточно–Сибирское	0,12	12,2	1,60	63,1	3,13	59,5
Чукотское	0,18	18,5	0,42	30,5	4,12	83,0
Бофорта	0,39	20,7	0,59	29,2	4,98	91,1
Северная часть Канадского района	0,11	48,5	1,25	65,4	1,09	26,1

Примечание: Первый столбец – значение линейного тренда в °С/10 лет;
Второй столбец – вклад тренда в полную дисперсию D %; \

Жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды.



2 Ледовые условия и процессы в Северном Ледовитом океане и его морях в январе–марте 2011 г.

Оценки особенностей развития ледовых условий в январе–марте 2011 года получены по данным государственной наблюдательской сети, центров приема спутниковой информации Росгидромета, данным экспедиционных исследований, проводимых в ГУ «ААНИИ» на дрейфующей станции «СП–38» и ряда международных проектов.

Со всей доступной исходной информацией по разделу можно ознакомиться на сайте ААНИИ по ссылке <http://www.aari.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 для зимнего (по возрасту) и летнего (по общей сплоченности) периодов 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 Североамериканкой ледовой службы). Однако, данная несогласованность несущественна для целей интерпретации ледовых условий в рамках настоящего обзора. Исходная информация в формате ВМО СИГРИЗ доступна на сервере МЦД МЛ по адресам <http://wdc.aari.ru/datasets/d0004> (карты ААНИИ), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0031> (карты КЛС), <http://wdc.aari.ru/datasets/d0032> (карты НЛЦ). В графическом формате PNG совмещенные карты ААНИИ–КЛС–НЛЦ доступны по адресу <http://wdc.aari.ru/datasets/d0040>.



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

– источник данных – архивные [5, 6] и квазиоперативные [7] с задержкой 1–2 дня ежедневные матрицы (поля распределения) оценок общей сплоченности Северной (севернее 45° с.ш.) и Южной (южнее 50° с.ш.) по алгоритму NASATEAM за период с 26.10.1978 г. по настоящий момент времени, копируемые с сервера НЦДСЛ;

– область расчета – Северная и Южная Полярные области и их 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, Южной полярных 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 2011 года выполнен на основе массива ежедневных распределений оценки общей сплоченности по алгоритму NASATEAM из архива Национального центра данных США по снегу и льду [8].

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

Развитие ледовых условий в зимний период 2011 г. проходило на фоне позднего начала ледообразования и малой остаточной ледовитости, наблюдаемых в осенний период 2010 г. во всех арктических морях и океане в целом.

Ледообразование среди остаточных льдов в центральном полярном бассейне, по данным наблюдений в высокоширотных экспедициях, началось в начале второй декады сентября, что 10–15 суток позднее среднемноголетних сроков, а в арктических морях по данным полярных станций – на 5–10 суток позже среднемноголетних сроков.

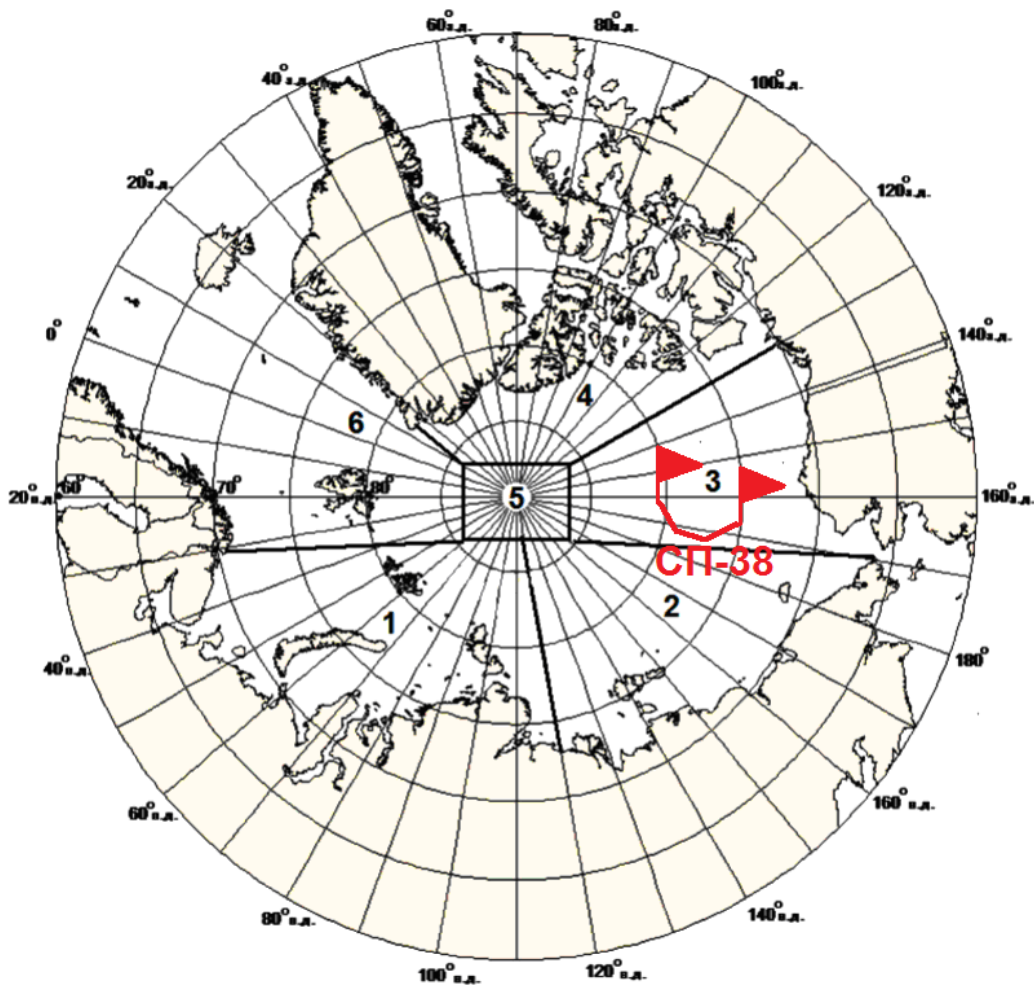


Рисунок 2.1 – Районы Северного Ледовитого океана и их границы (1–западный район российского сектора; 2–восточный район российского сектора; 3–альяскинский сектор; 4 – канадский сектор; 5–приполюсный район; 6– гренландский сектор) и дрейф «СП–38»

В результате позднего начала осенних ледовых процессов в морях российского сектора Арктики в конце 2010 г. преобладали однолетние тонкие льды. Большое количество молодых льдов наблюдалось в Баренцевом, юго–западной части Карского и в Чукотском морях и море Бофорта.

Старые льды отмечались в северо–западной части моря Лаптевых, северных частях морей Восточно–Сибирского и Бофорта. Старые льды распространялись в этих морях тремя большими протяженными «языками»

Граница старых льдов в российском секторе наблюдалась севернее своего обычного положения. Основная масса старых льдов оказалась смещенной в приполюсный район, канадский и гренландский сектора Арктики (рис. 2.2).

Общее количество льда в Северном Ледовитом океане было меньше среднемноголетнего значения в основном за счет небольшой ледовитости западного района российского сектора Арктики (морей Баренцева и Карского). По оценкам, выполненным в лаборатории режимных



пособий ГУ «АНИИ», общая площадь дрейфующих льдов в СЛО в конце декабря составила 13,3 млн. кв. км при норме 14,1 млн. кв. км, что на 5,3 % меньше среднемноголетних значений (рис. 2.15).

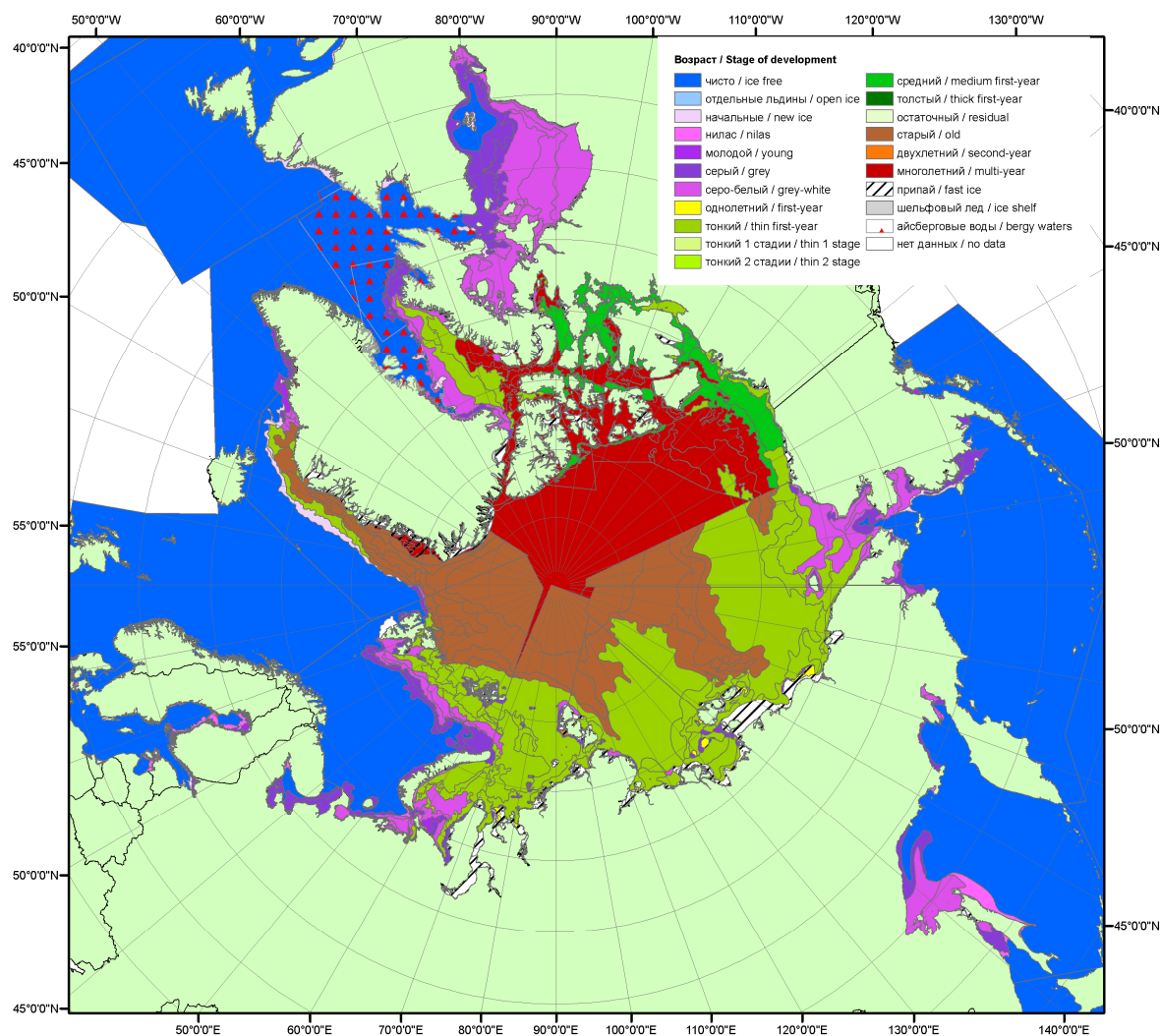


Рисунок 2.2 – Обзорная ледовая карта СЛО за 20–21 декабря 2010 г., составленная на основе ледового анализа АНИИ, КЛС и НЛЦ США

Позднее начало ледообразования и невысокая интенсивность нарастания льда в окраинных морях в течение зимних месяцев 2011 г. привели к тому, что толщина льда по данным полярных станций во всех арктических морях, кроме юго-западной части Карского и северо-восточной части моря Лаптевых была меньше среднемноголетних значений. Практически во всех морях отмечались отрицательные аномалии толщины льда, величина аномалий составляла $-10...-30$ см (рис. 2.3).

Измерения на дрейфующей станции «СП-38» показали очень интересные результаты. Учитывая то, что станция была высажена на поле сморози, состоящем из остаточного однолетнего

и многолетнего льдов, измерения нарастания толщины льда на остаточном однолетнем и многолетнем льдах проводились отдельно. Измерения показали, что нарастание остаточного однолетнего льда при начальной толщине около 80 см было значительно больше, чем на многолетних льдах, с начальной толщиной 180 см. Толщина льда за период с конца декабря по конец марта соответственно увеличилась со 124 см до 194 см (увеличение на 69 см) и с 246 до 274 см (увеличение на 28 см). Увеличение толщины остаточного льда происходило в среднем по 7,5 см за декаду, что больше среднемноголетнего значения скорости нарастания льда для высоких широт, которое в этот период года составляет 5 см за декаду, а многолетнего льда в среднем по 3 см за декаду, что близко к норме для многолетних льдов.

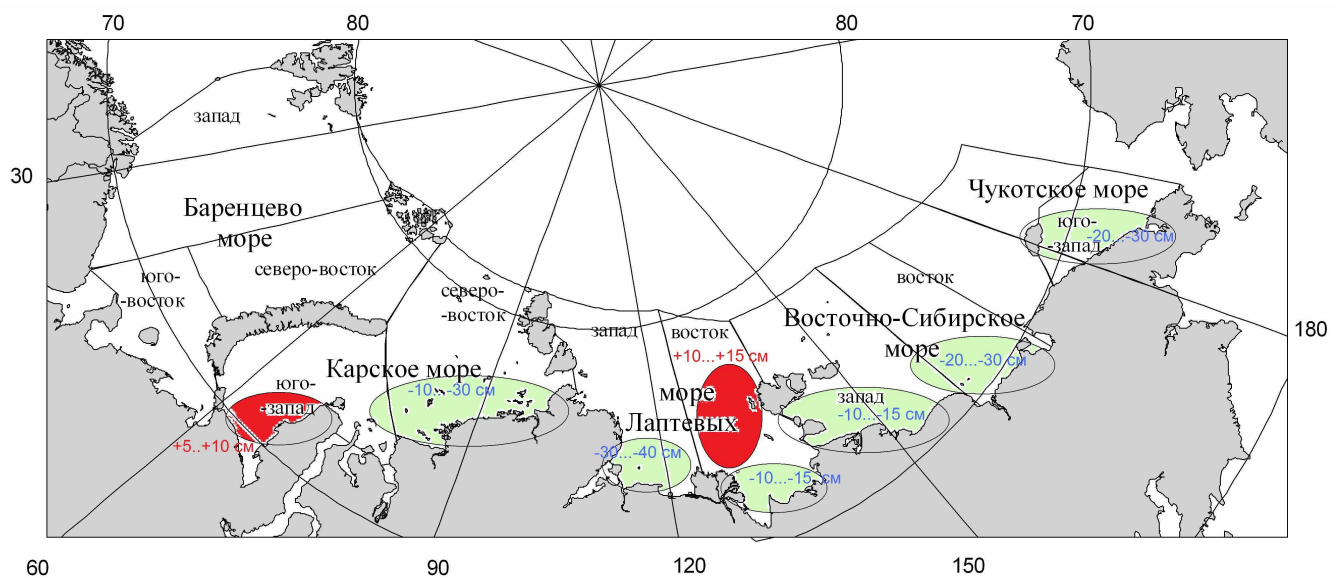


Рисунок 2.3 – Аномалии толщины льда в морях российских секторов Арктики в конце марта по данным полярных станций

Высота снежного покрова в марте 2011 года оказалась значительно меньше среднемноголетним значений. По данным измерений высота снега на конец марта составила 13 см при характерной среднемноголетней высоте снега на многолетних льдах в конце марта 30 см. По наблюдениям на станции значительные участки льдины были вообще оголены и не покрыты снежным покровом.

Ход изменения толщины льда и высоты снежного покрова по данным прямых измерений на полигоне «СП–38» приведены на рис. 2.4.

Распределение ледяного покрова по сплоченности и по возрастным градациям на каждый месяц и поля среднемесячного дрейфа за период январь–март 2011 г. приведены на рис. 2.5–2.13.

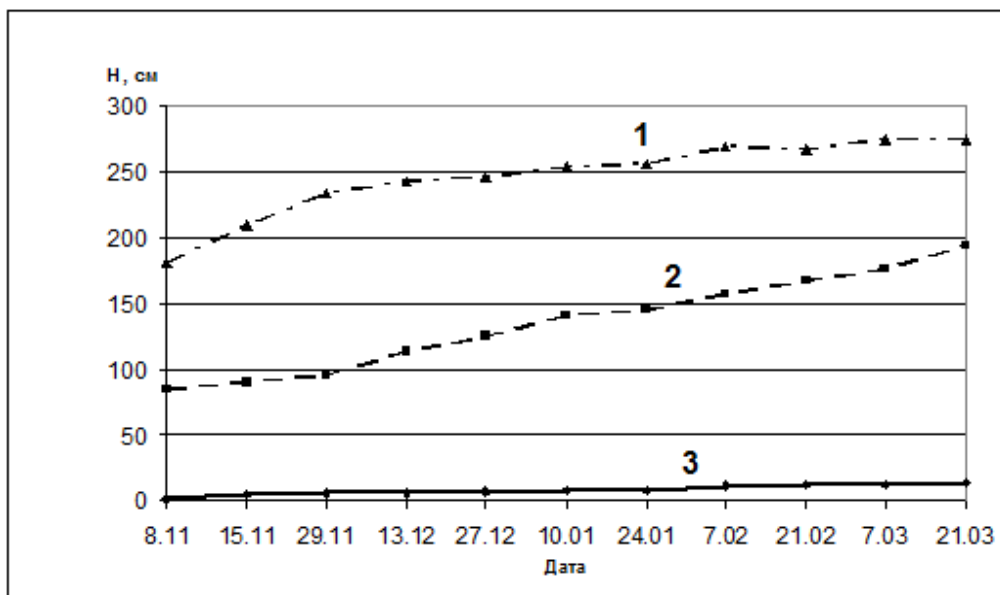


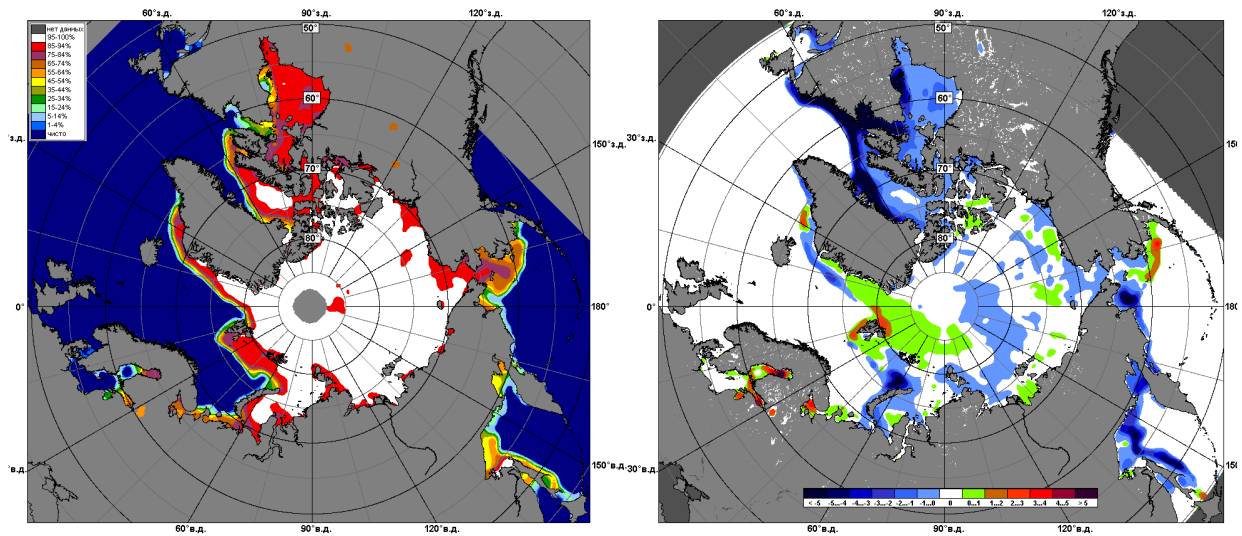
Рисунок 2.4 – Изменения толщины льда и высоты снежного покрова по данным прямым измерений на дрейфующей станции «СП–38» (1 – многолетний лед; 2 – остаточный однолетний лед; 3 – снежный покров)

В январе наблюдалось хорошее развитие основных структур генерального дрейфа льда в СЛО – трансарктического переноса и канадского антициклонического круговорота. Из морей российского сектора Арктики наблюдался вынос льда. В западном районе российского сектора Арктики (в Баренцевом и Карском морях) в течение всего января наблюдалось большое количество молодых льдов (толщиной до 30 см). В этих районах сформировалась большая разность между медианным распределением сплоченности и ее среднемноголетним значением. На рис. 2.5 отрицательные аномалии сплоченности льда выделены голубым цветом, что дает наглядное представление о районах наибольшего отклонения ледовых условий от среднего значения.

В гренландском секторе наблюдался вынос льдов, обусловленный трансарктическим переносом и увеличение сплоченности льда, небольшие положительные аномалии выделяются зеленым цветом (рис. 2.5).

На рис. 2.5 приведено распределение льда по возрасту на конец января. Хорошо видно, что обширные зоны молодых льдов наблюдались в Баренцевом и юго–западе Карского морей. В этих морях преобладали однолетние тонкие льды. Однолетние льды в высокоширотных районах СЛО и центральных морях российского сектора Арктики достигли толщины однолетних средних льдов.

В результате антициклонического дрейфа наблюдался вынос льдов из моря Бофорта в северную часть Чукотского моря, что хорошо прослеживается по смещению «языка» старых льдов» в западном направлении от 160°з.д в декабре до 175°з.д. в январе. Началось становление припая на побережье арктических морей и в отдельных проливах арктических морей (рис. 2.6).



а)

б)

Рисунок 2.5 – Медианное распределение сплоченности льда в январе 2011 г. (а) и её разности относительно медианного распределения за тот же месяц за периоды 1979–2011 б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS, алгоритм NASATEAM

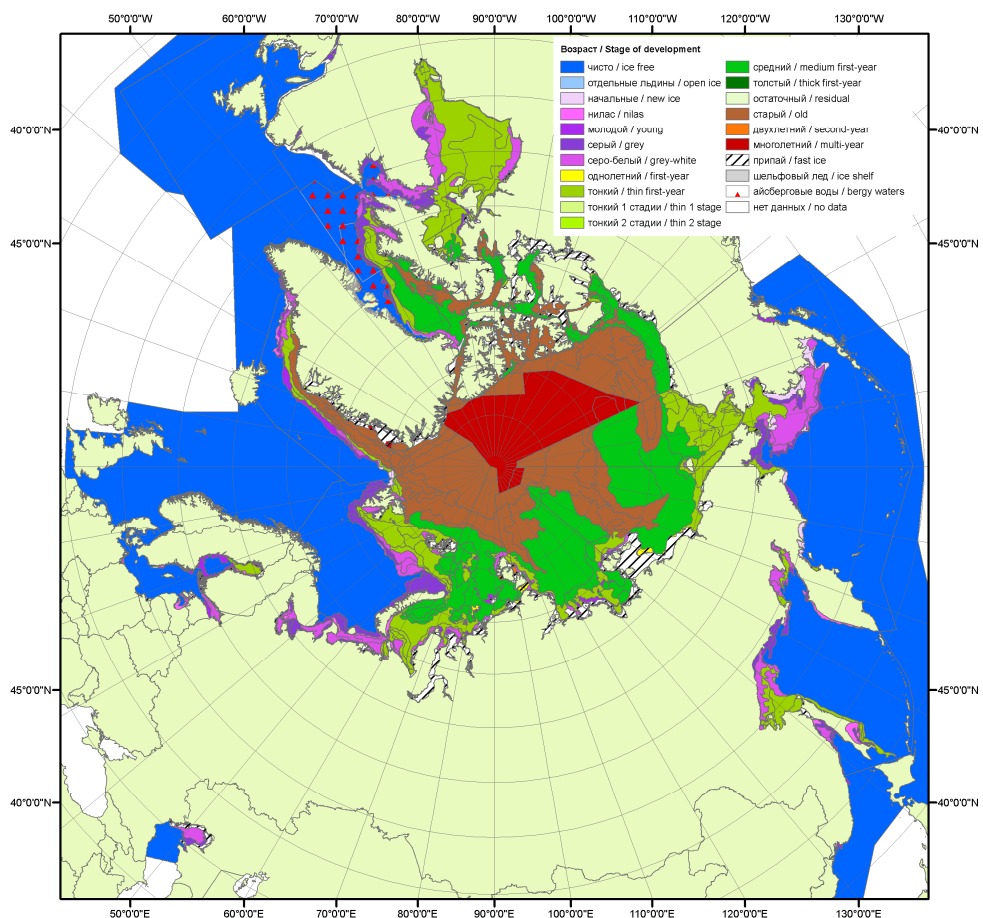


Рисунок 2.6 – Обзорная ледовая карта СЛО за 17–18.01.2011 г. на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США

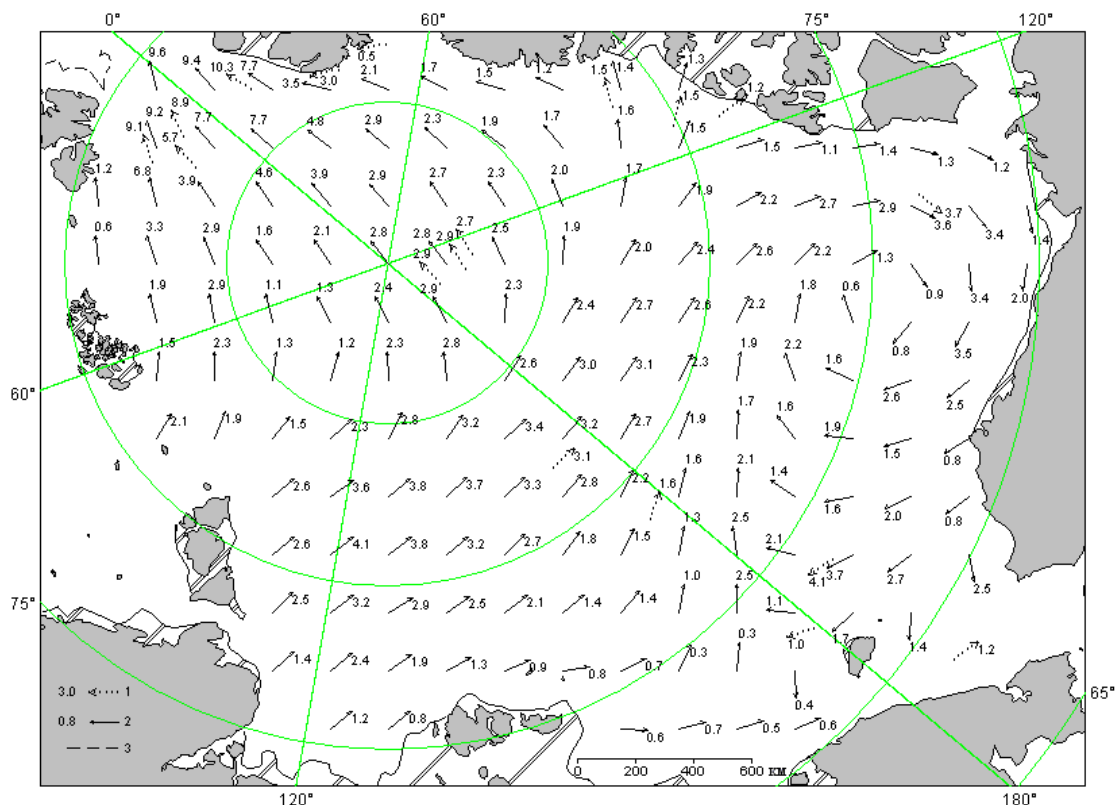


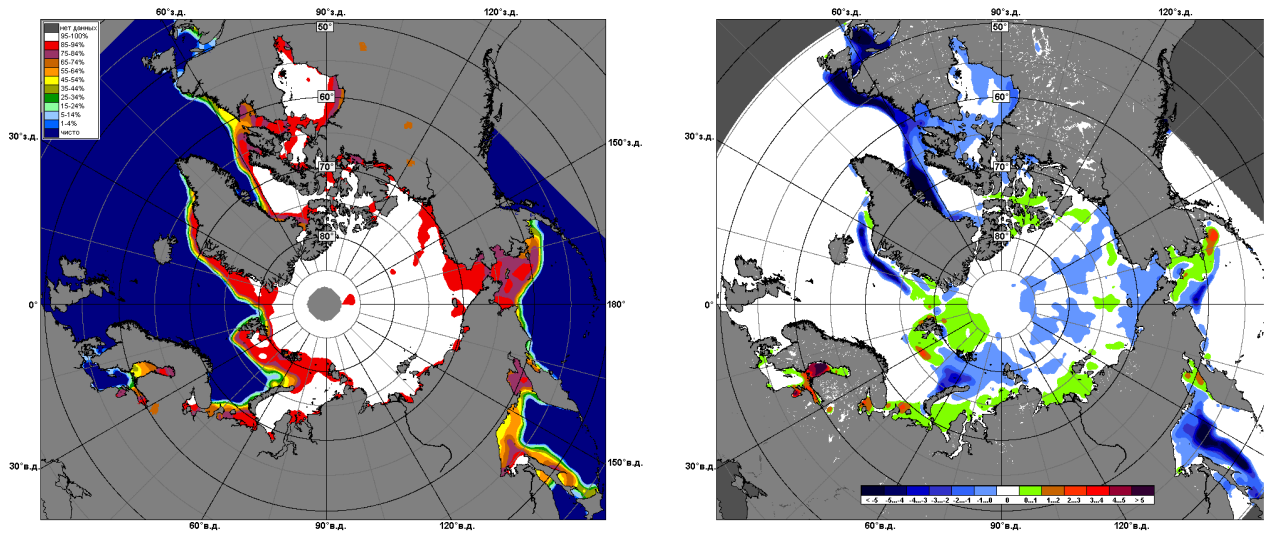
Рисунок 2.7 – Поле скорости результирующего дрейфа льда в январе 2011 г. (1 – направление (стрелка) и скорость (3.0 км/сут) дрейфа автоматического буя; 2 – те же характеристики дрейфа льда, рассчитанные в узле сетки; 3 – кромка молодого льда)

В феврале произошла резкая перестройка крупномасштабных атмосферных процессов над северным полушарием, что повлекло за собой полное изменение поля дрейфа льда. В приполюсном районе сформировался дрейф в виде гигантского циклонического круговорота. Из морей российского сектора Арктики наблюдался дрейф выносного характера, а в море Бофорта приносного характера. Основной массив старых льдов оказался прижат к островам Канадского арктического архипелага.

В результате изменения характера дрейфа произошло выравнивание поля сплоченности ледяного покрова и уменьшение площадей зон с положительными и отрицательными аномалиями сплоченности (рис. 2.8).

На рис. 2.9 приведено распределение льда по возрасту на середину февраля. На северных границах арктических морей однолетние льды средней толщины начали переходить в возрастную градацию однолетних толстых льдов. К северу от широты 78°с.ш. однолетние толстые льды наблюдались повсеместно.

Припай в российских арктических морях и проливах Канадского арктического архипелага развивался крайне слабо. Например в проливе Вилькицкого сплошной припай так и не установился, что наблюдалось крайне редко.



а)

б)

Рисунок 2.8 – Медианное распределение сплоченности льда в феврале 2011 г. (а) и её разности относительно медианного распределения за тот же месяц за периоды 1979–2011 (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS, алгоритм NASATEAM

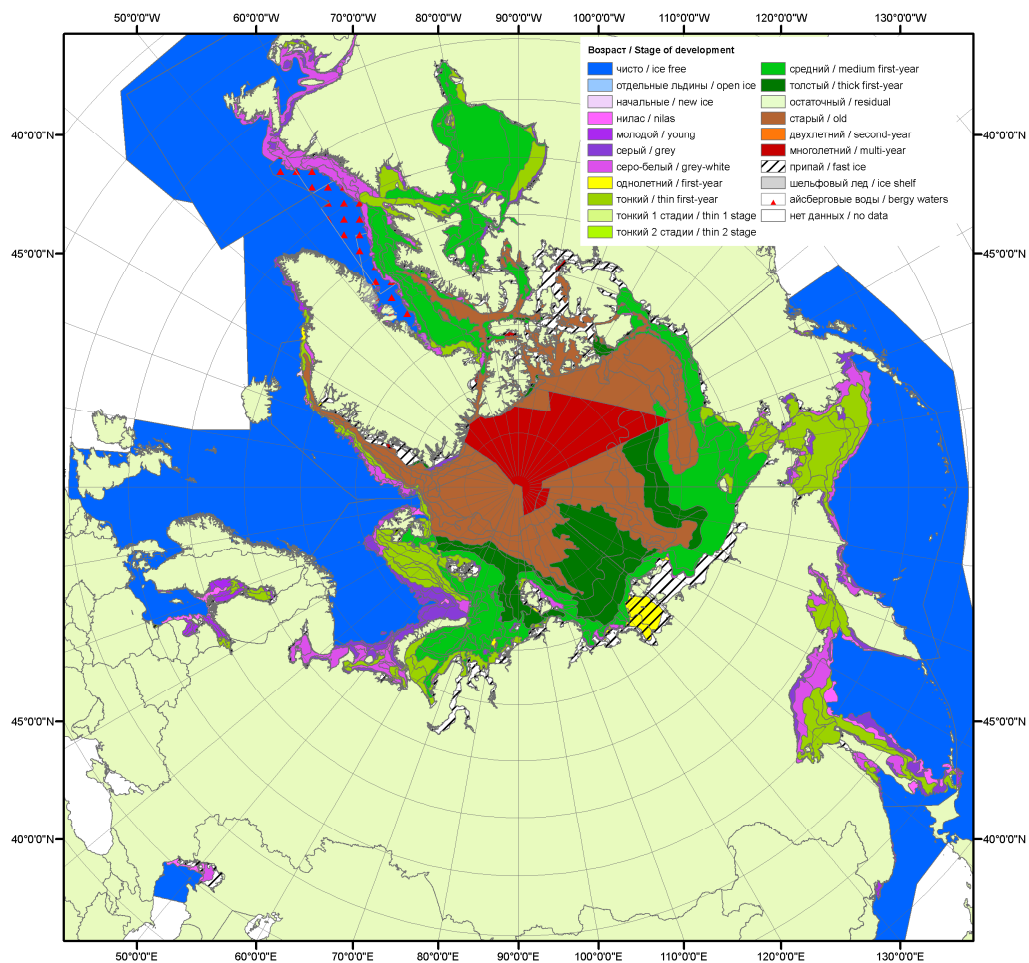


Рисунок 2.9 – Обзорная ледовая карта СЛО за 14–15.02.2011 г. на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США

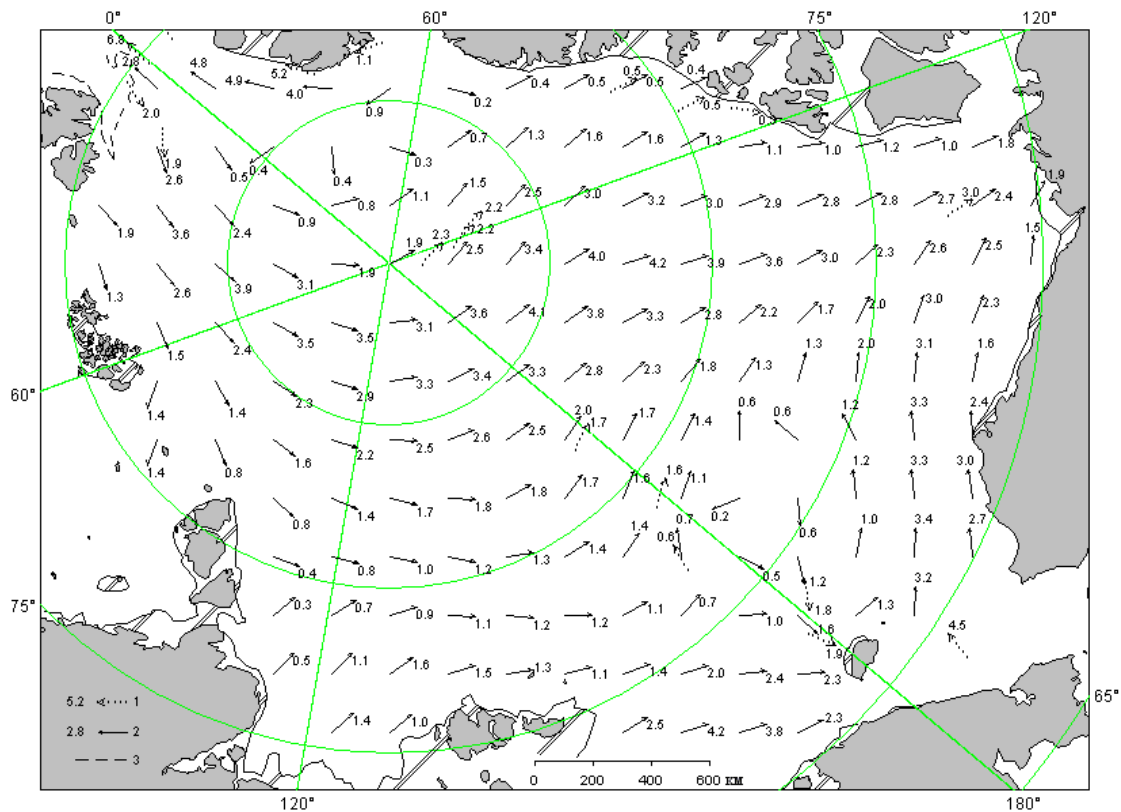


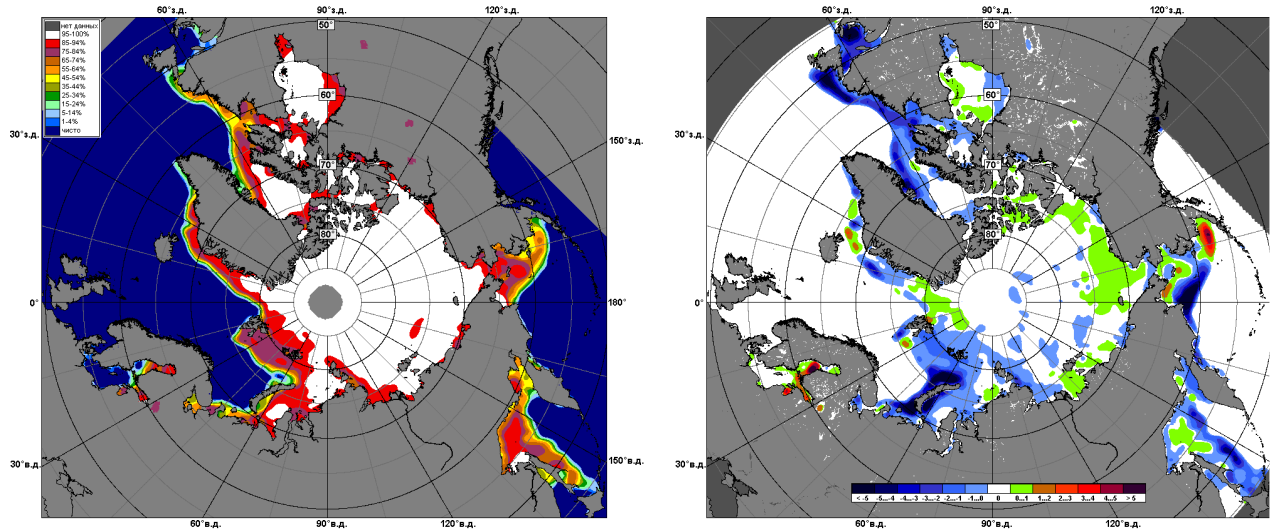
Рисунок 2.10 – Поле скорости результирующего дрейфа льда в феврале 2011 г. (1 – направление (стрелка) и скорость (5.2 км/сут) дрейфа автоматического буя; 2 – те же характеристики дрейфа льда, рассчитанные в узле сетки; 3 – кромка молодого льда)

В марте наблюдалось интенсивное развитие и нарастание толщины ледяного покрова. В составе однолетних льдов преобладали возрастные категории средних и толстых льды. Были хорошо выражены все характерные элементы общего поля дрейфа льда в океане – трансарктический перенос и канадский антициклонический вихрь. Это привело к слабому выносу льдов из морей российского сектора Арктики, приносу льда в море Бофорта и дальнейшему смещению «языка» старых льдов из моря Бофорта в западном направлении от меридиана 175°з.д. до меридиана 180°.

В поле сплоченности льда сформировались значительные отрицательные аномалии в морях западного района российского сектора Арктики (Баренцево и Карское моря) положительные (зеленые зоны) аномалии сплоченности в море Бофорта (рис. 2.11).

Результирующие поля среднемесячного дрейфа за март приведен на рис. 2.13.

Развитие припая в российских арктических морях в течение трех зимних месяцев проходило с небольшой интенсивностью. Площадь припая во всех российских арктических морях была меньше среднемноголетних значений. В конце марта суммарная площадь припая в российских арктических морях составила 461,5 тыс. кв. км при норме 615 тыс. кв. км, или на 25 % меньше среднемноголетних значений.



а)

б)

Рисунок 2.11 – Медианное распределение сплоченности льда в марте 2011 г. (а) и её разности относительно медианного распределения за тот же месяц за периоды 1979–2011 (б) на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I–SSMIS, алгоритм NASATEAM

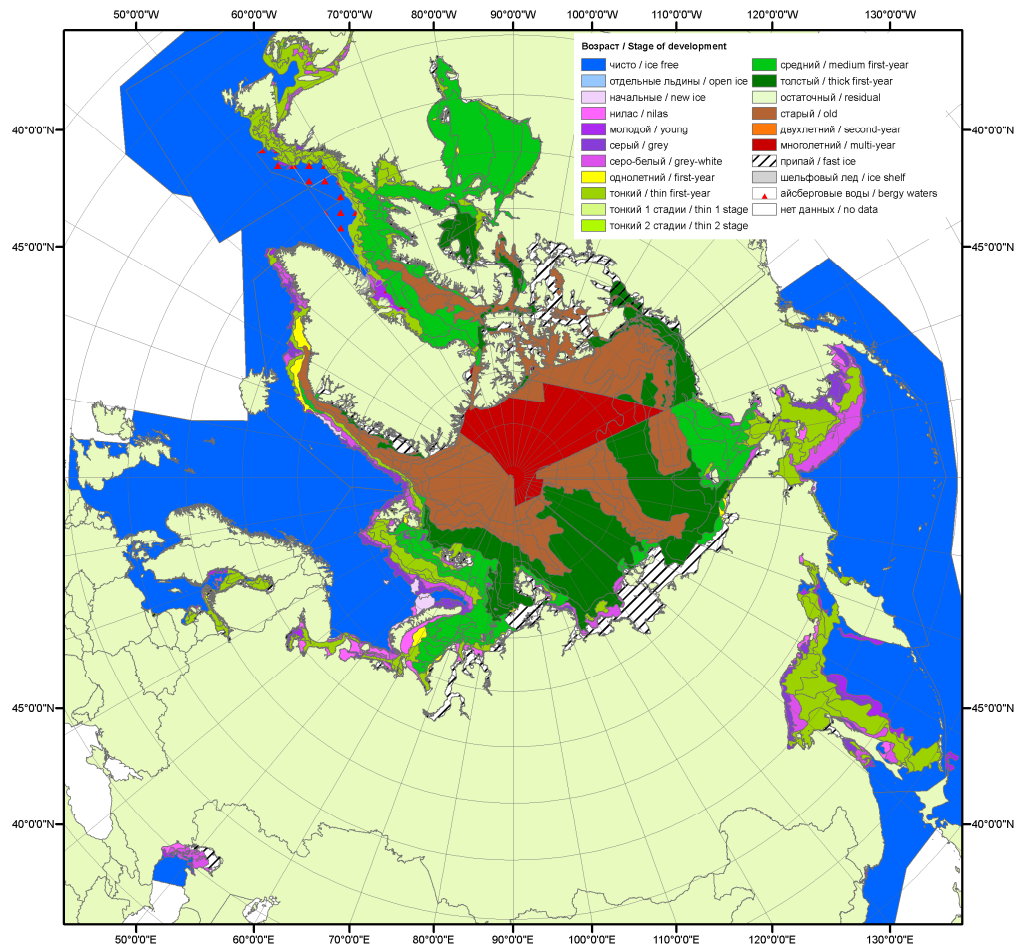


Рисунок 2.12 – Обзорная ледовая карта СЛО за 14–15.03.2011 г. на основе ледового анализа ААНИИ, Канадской ледовой службы и Национального ледового центра США

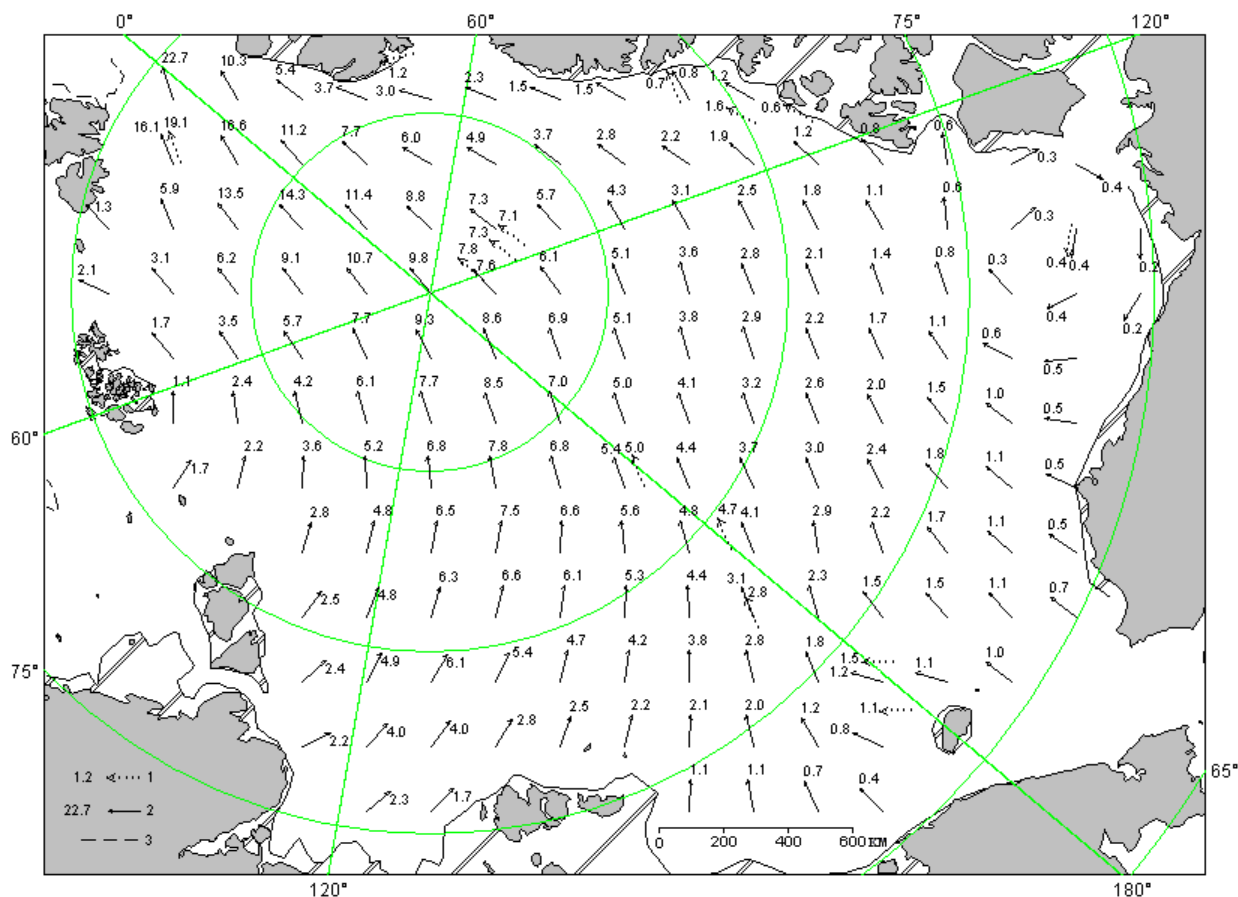


Рисунок 2.13 – Поле скорости результирующего дрейфа льда в марте 2011 г. (1 – направление (стрелка) и скорость (5.2 км/сут) дрейфа автоматического буя; 2 – те же характеристики дрейфа льда, рассчитанные в узле сетки; 3 – кромка молодого льда)

Развитие заприпайных полыней во всех морях было значительно больше среднемноголетних значений. Суммарная площадь полыней составила в конце марта 233,5 тыс. кв. км при норме 101 тыс. кв. км, или почти вдвое больше среднемноголетних значений.

Следует отметить, что обычно площадь полыней в конце марта – начале апреля составляет 4,4 % от общей площади морей сибирского шельфа, в этом году это величина равна 10,1 %. Известно, что полыньи в зимний период включаются в процесс ледопродуктивности моря. Образующиеся в них молодые (и более тонкие) льды, смешиваясь в результате дрейфа со льдами повышенной возрастной категории (большой толщины), ослабляют ледяной покров.

Дрейф станции СП–38 с момента высадки в конце октября 2010 г. и за первые три месяца 2011 г. составил: общая протяженность дрейфа – 1630 км, протяженность дрейфа в генеральном направлении – 430 км,

Средняя скорость дрейфа составила 9,2 км/сутки, но в генеральном направлении станция перемещалась со средней скоростью 3 км/сутки, что значительно ниже среднемноголетних значений и подтверждает выводы о слабой динамике ледяного покрова в первом квартале года.



Схема дрейфа станции СП–38 приведена на рисунке 2.14.

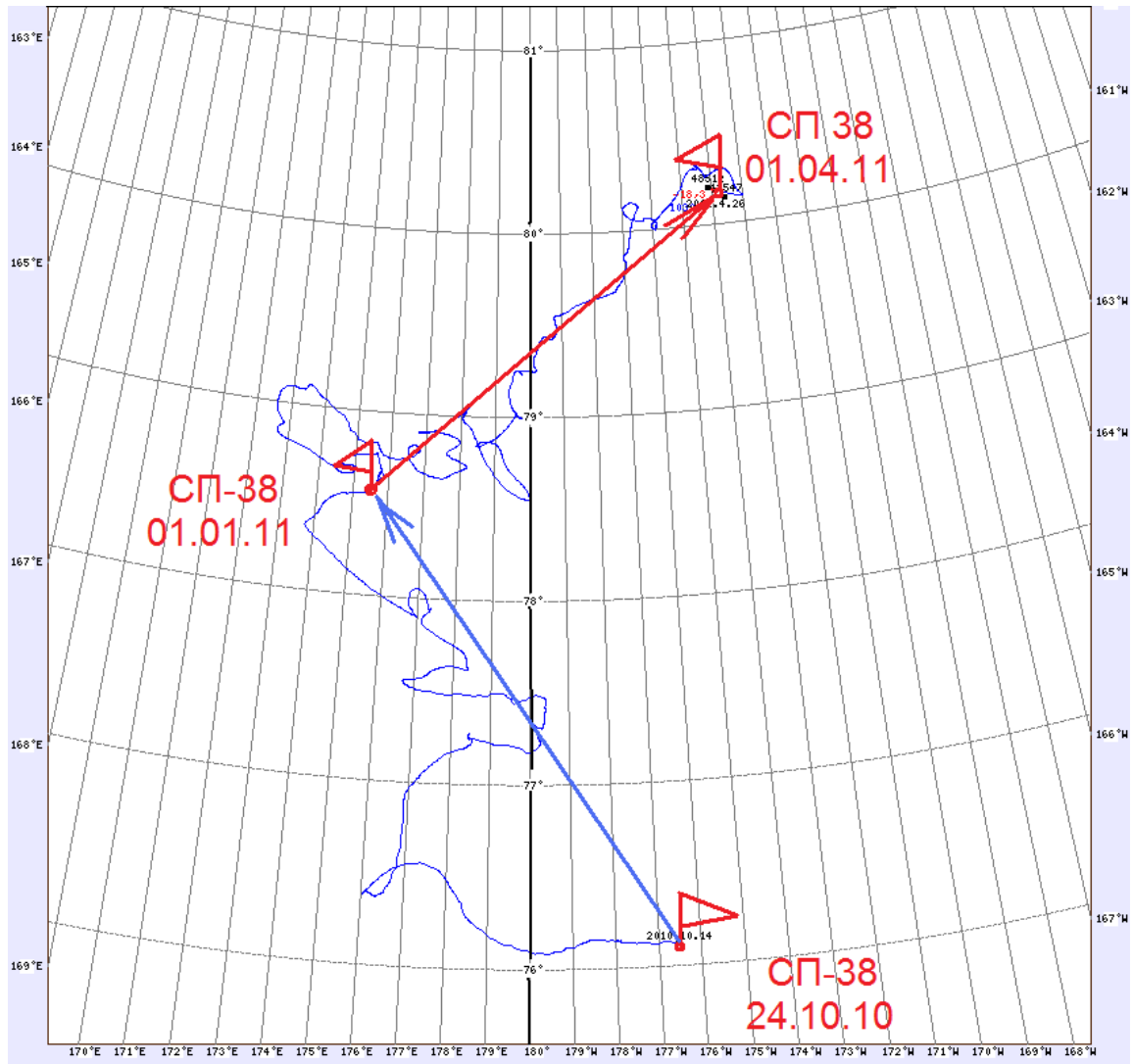


Рисунок 2.14 – Генеральный дрейф дрейфующей станции «СП–38» с момента высадки и в январе–марте 2011 г.

Общее количество льдов в Северном Ледовитом океане по оценкам, выполненным в лаборатории режимных пособий ААНИИ, в первом квартале года было на 5–10 % меньше среднемноголетнего значения за счет малой ледовитости морей гринландского и западного района российского секторов Арктики (рис. 2.15).

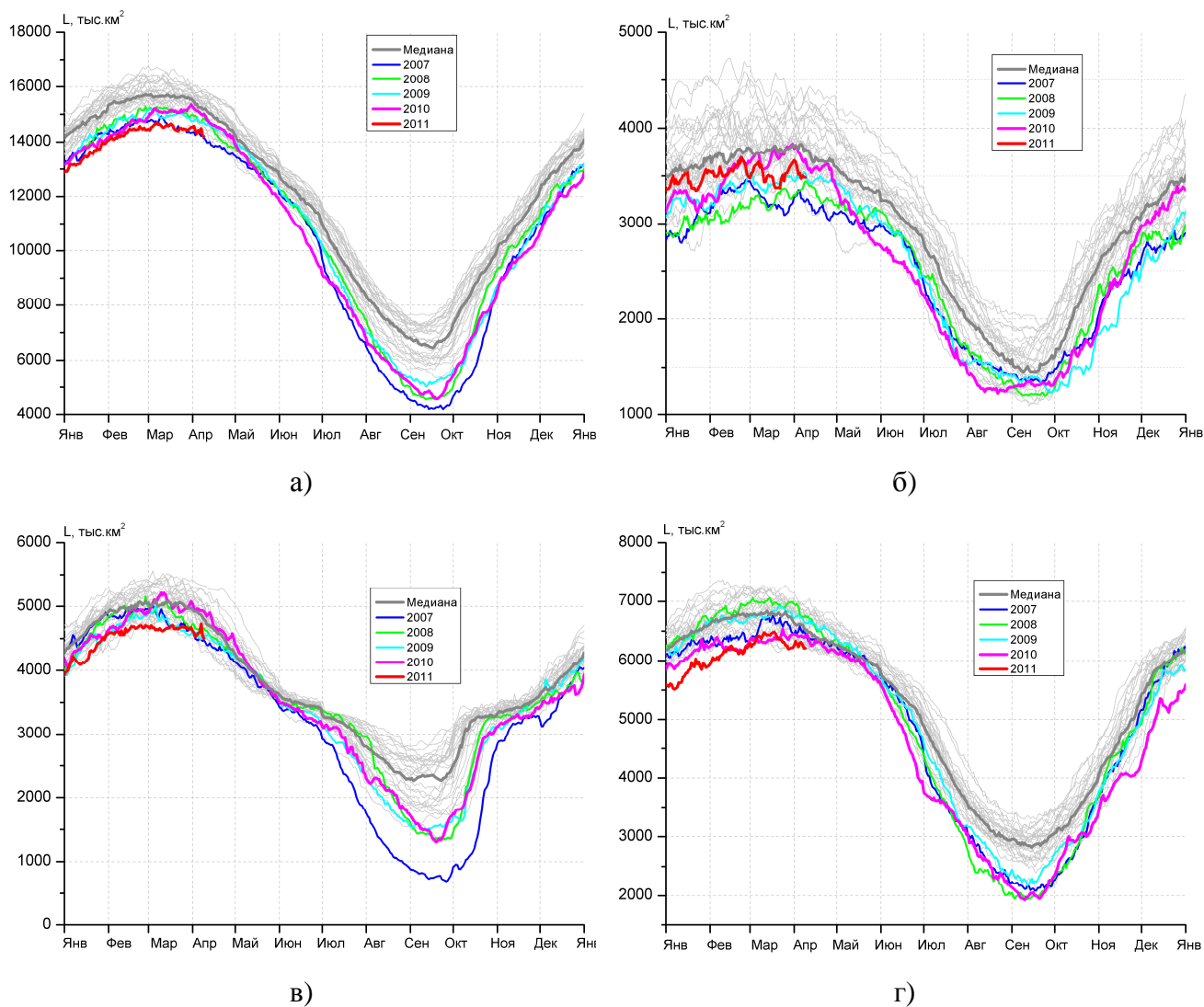


Рисунок 2.15 – Ежедневные оценки сезонного хода ледовитости: а) – для Северной полярной области и меридиональных секторов б) – $45^{\circ}W-95^{\circ}E$ (Гренландское – Карское моря), в) – $95^{\circ}E-170^{\circ}W$ (моря Лаптевых – Чукотское и Берингово, Охотское) и г) – $170^{\circ}W-45^{\circ}W$ (море Бофорта и Канадская Арктика) за период с 26.10.1978 по 09.04.2011 по годам на основе расчетов по данным SSMR–SSM/I, алгоритм NASATEAM



3 Гидрологические и гидрохимические условия Северного Ледовитого океана и его морей в январе–марте 2011 г.

3.1 Термохалинные условия в Арктическом бассейне по данным дрейфующей станции «Северный полюс–38»

В первом квартале 2011 г. оперативная информация о термохалинном состоянии вод Северного Ледовитого океана продолжала поступать из двух основных источников: с российской дрейфующей станции «Северный Полюс – 38» (СП–38) и с автономных дрейфующих ИТР (Ice–Tethered Profiler) буев (табл. 3.1).

Таблица 3.1 Сведения о наблюдениях в первом квартале 2011 г., загруженных в базу данных термохалинных характеристик отдела океанологии ААНИИ

№ п/п	Экспедиция, судно, измерительная платформа	Период		Количество станций
1	СП–38	01.01.2010	31.03.2010	116
2	ИТР*–41	01.01.2010	31.03.2010	198
3	ИТР–33	01.01.2010	31.03.2010	50
4	ИТР–42	01.01.2010	31.03.2010	43
5	ИТР–43	01.01.2010	31.03.2010	83
ВСЕГО				490
<i>* Примечание: данные буев ИТР, доступные с сайта Океанографического института в Вудсхоле, США (http://www.whoi.edu/itp)</i>				

В рассматриваемый период времени в глубоководной части Американо-Северного суббассейна дрейфовало в общей сложности 4 работающих ИТР буй, оснащенных профилографами, с помощью которых обеспечивалось непрерывное поступление информации о термохалинной структуре верхнего 760–метрового слоя вод. При этом все буи (с номерами 33, 41, 42 и 43) были сосредоточены в центральной области канадской глубоководной котловины. Положение всех выполненных океанографических станций, использованных в рамках настоящего обзора, показано на рисунке 3.1.

Особенности вертикальной термохалинной структуры СЛО

Для анализа особенностей вертикальной термохалинной структуры по данным наблюдений в первом квартале 2011 г. был осуществлен расчет основных статистических характеристик (среднее, стандартное отклонение, минимальные и максимальные значения) вертикальных профилей температуры и солености. При этом было проведено предварительное объединение исходных данных по географическому признаку. В качестве таких географических зон использовались: район дрейфа ИТР буй № 42 для описания вертикальной структуры центральной

части Американо-Азиатского суббассейна в области ядра круговорота Бофорта и район дрейфа станции СП–38 в южной части хребта Менделеева. Сравнительный анализ выполнялся путем сопоставления вертикальных профилей основных статистических характеристик температуры и солености, полученных для каждой из выделенных групп, с аналогами, определяемыми на стандартных горизонтах за весь исторический период наблюдений в пределах полосы шириной 100 км в стороны от траектории дрейфа профилографа или станции СП–38 (рис. 3.1).

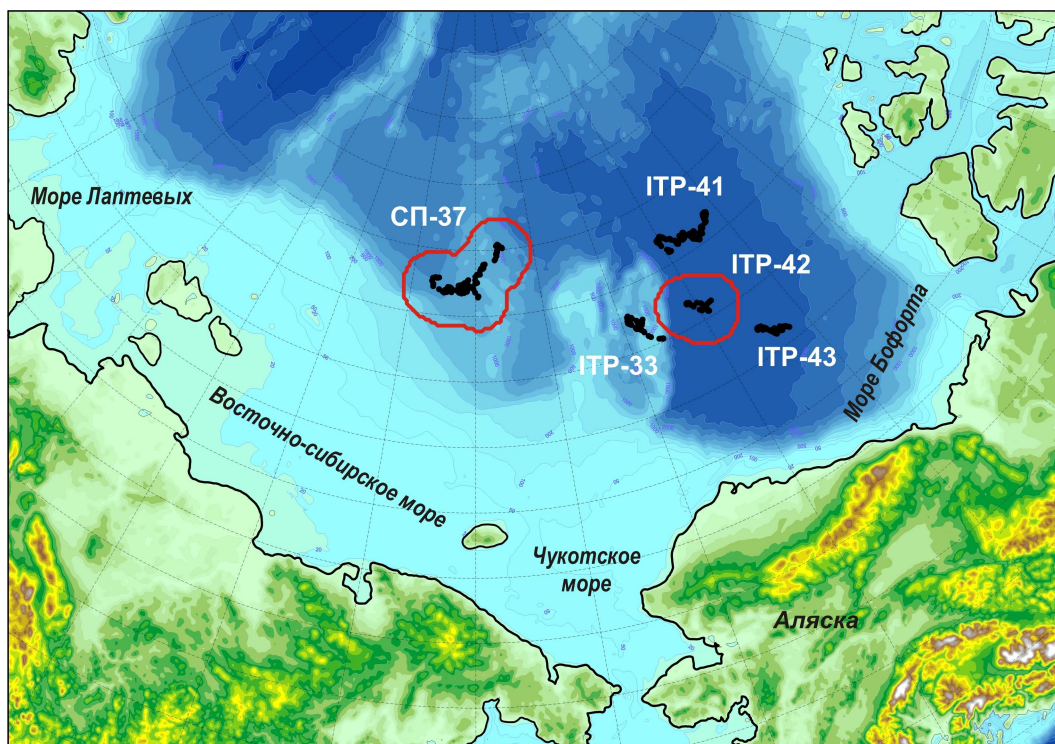


Рисунок 3.1 – Положение океанографических станций, выполненных в первом квартале 2011 г. и занесенных в БД отдела океанологии ГУ «АНИИ» (Контурами выделены районы для поиска исторических аналогов вертикальной термохалинной структуры в окрестностях дрейфа буя ИТР № 42 (канадская глубоководная котловина) и в районе дрейфа СП–38)

Вертикальная структура вод в районе южной части хребта Менделеева

Поверхностный слой

Поверхностный однородный слой толщиной около 25–40 м характеризуется диапазоном значений солености 29,1 – 30,3 ‰, при среднем значении около 29,75 ‰ что почти на 1 ‰ меньше климатической нормы для рассматриваемого района, определенной за период до 2003 года (рис. 3.2). При этом среднее значение наблюдаемой солености выходит за пределы стандартного отклонения зимней климатической солености, составляющей около 0,5 ‰. Определение аномалии глубины нижней границы верхнего квазиоднородного слоя не представляется возможным в связи

с недостаточно высокой дискретностью данных исторических наблюдений. Термический режим поверхностного слоя полностью определяется взаимодействием с атмосферой и, в результате выхолаживания, варьируется в довольно узких пределах около температуры замерзания при данной солености.

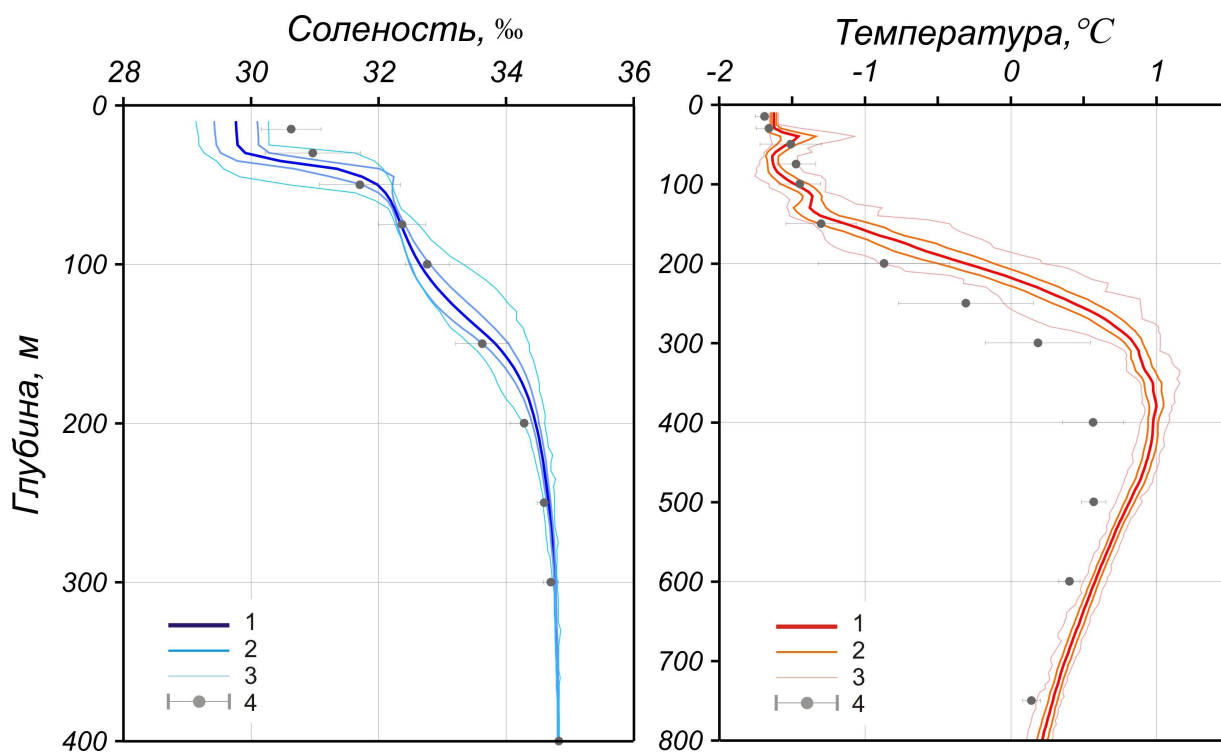


Рисунок 3.2 – Вертикальное распределение солености и температуры по результатам измерений в Евразийском суббассейне по данным СП–38 за первый квартал 2011 г. (1 – профиль средних значений, 2 – область стандартного отклонения, 3 – минимальные и максимальные значения наблюдаемых характеристик, 4 – средние климатические значения и стандартные отклонения соответствующих характеристик по историческим данным базы океанографических данных СЛО отдела океанологии ГУ «АНИИ»)

Слой тихоокеанских вод

Ниже верхнего квазиоднородного слоя располагаются летние тихоокеанские воды, характерной особенностью которых является наличие промежуточного максимума в вертикальном профиле температуры на глубинах от 30 до 60–70 метров. Максимум приходится на глубину около 30 метров, где температуры достигают в отдельных случаях значений $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, что примерно на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры замерзания и на $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше климатической нормы для этого периода. Соленость воды в слое тихоокеанских вод несколько превышает норму, создавая локальный максимум аномалии солености по отношению к среднему сглаженному профилю (рис. 3.2).



Промежуточный слой холодного галоклина

Слой вод с температурами близкими к температурам замерзания и со значениями соленостей от 32,3 ‰ и до 33,1–33,2 ‰ занимает диапазон глубин 70–130 метров. Этот слой (так называемый слой холодного галоклина) по своим термохалинным характеристикам не имеет существенных различий со средними климатическими данными. Весь диапазон наблюдаемой в начале 2011 года изменчивости, как температуры, так и солености, почти полностью укладывается в рамки стандартных отклонений этих характеристик по историческим данным (рис. 3.2).

Атлантическая водная масса

Ниже слоя холодного галоклина, от глубины 130–140 метров наблюдается постепенный рост температуры воды, обусловленный присутствием атлантической водной (АВ) массы, отличающейся высокими значениями температуры и солености. Положительные аномалии температуры в этом слое могут наблюдаться уже с глубин 150 метров, достигая максимума в ядре АВ на глубинах 350–450 метров, где значения температур $+0,9$ $+1,1$ °С почти на $0,4$ °С превышают климатическую норму. Верхняя граница АВ, определяемая по изотерме 0 °С, расположена примерно на глубине 210–230 метров, что примерно на 30–50 м ближе к поверхности по сравнению с ее климатическим положением. В области верхнего термоклина над ядром АВ положительные аномалии температуры сопровождаются аномалиями того же знака по солености величиной до $0,2$ ‰, хотя глубже 350 метров аномалия практически не наблюдается (рис. 3.2)

Вертикальная структура вод центральной части Американо-Азиатского суббассейна

Поверхностный слой

По данным измерений в начале 2011 г. поверхностный слой толщиной 30–40 м в центральной части круговорота Бофорта характеризовался более пресными водами по сравнению с климатическими значениями до 2003 г. (рис. 3.3). Так, соленость воды в верхнем квазиоднородном слое меньше климатического значения на $3,8$ – $4,0$ ‰ (при значениях $26,4$ – $26,7$ ‰).

Тихоокеанские воды

Ниже поверхностных вод в Американо-Азиатском секторе Арктического бассейна располагается слой летних тихоокеанских вод (ЛТВ), поступающих на шельф Чукотского моря через Берингов пролив в летний период. Толщина этого слоя по данным наблюдений в 2011 году составляет около 130 м (глубина от 30 до 160 м по изотерме $-1,4$ °С). Слой ЛТВ, так же как и поверхностный слой, характеризуется отрицательной аномалией солености, которая изменяется примерно от почти 4 ‰



в области верхней границы слоя до 0,25 ‰ на нижней границе. Кроме этого в слое ЛТВ уже традиционно для последних лет регистрируется положительная аномалия температуры, которая в среднем составляет около +1,2 °С в области ядра, которое, кроме этого, расположено на 20 м ближе к поверхности. В отдельных случаях температуры в слое ЛТВ достигали значений больших +2 °С при среднем уровне +0,4 °С. Эти значения выходят далеко за рамки стандартных отклонений, полученных по историческим данным, превышая последние на порядок и более. Такое аномально теплое состояние слоя тихоокеанских вод не имеет аналогов в истории наблюдений и связано, по всей видимости, с совместным эффектом повышенных температур ЛТВ в момент их поступления в СЛО через Берингов пролив и высокой плотностной стратификации за счет распреснения поверхностного слоя. При этом причиной формирования отрицательной аномалии солености ЛТВ может являться взаимодействие с достаточно распресненным поверхностным слоем.

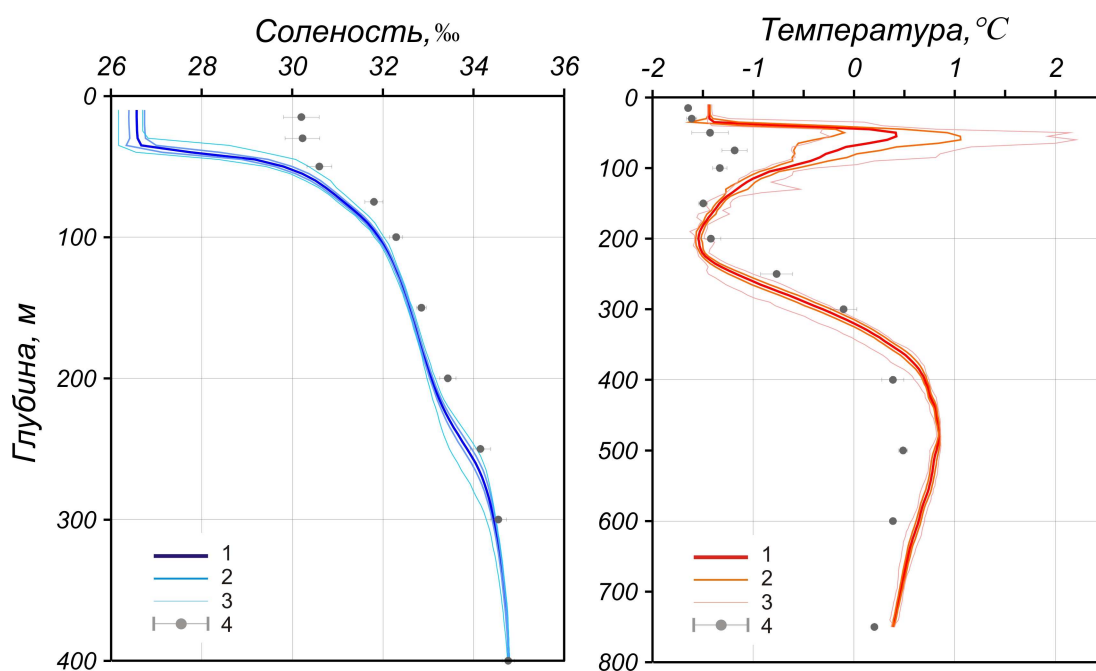


Рисунок 3.3 – Вертикальное распределение солености и температуры по результатам измерений в Канадской котловине в первом квартале 2011 г. (усл. обозначения см. рис.3.2)

Атлантическая водная масса

В слое атлантической водной массы наблюдается положительная аномалия температуры. При значении температуры в ядре АВ около 0,8–0,9 °С значение аномалии на глубине 470 м достигает 0,3–0,4 °С и почти в два раза превышает значение стандартного отклонения температуры в ядре АВ, согласно историческим данным. Вертикальное распределение солености в слое АВ находится в пределах стандартного отклонения климатических данных. При этом



несмотря на положительную аномалию температуры, верхняя граница слоя АВ, расположенная на глубине 320 м, соответствует ее климатическому положению.

Подводя итог описания особенностей термохалинного состояния вод СЛО в течение первого квартала 2011 г. можно сделать следующие выводы:

1 Аномальное термическое состояние АВ, наблюдаемое в Амеразийском суббассейне начиная с 90-х годов прошлого века, а особенно в течение последних 6 лет, продолжает оставаться ключевой характеристикой вод СЛО;

2 Отрицательная аномалия солёности верхнего 50-метрового слоя вод Амеразийского суббассейна (а также нижележащих слоев до глубин 200–250 м), в значительной степени связанная с уменьшением толщины ледяного покрова и таянием большого объема льдов в летний период, продолжает быть характерной особенностью этого района СЛО;

3 Не имеющий исторических аналогов факт аномально высоких температур слоя летних тихоокеанских вод, наиболее вероятно, связан с совместным эффектом повышенных температур ЛТВ в момент их поступления в СЛО через Берингов пролив в летний период и распреснения поверхностного слоя, которое подавляет вертикальный обмен и способствует сохранению тепла на промежуточных глубинах. Это обстоятельство является весьма важным для оценок влияния вод тихоокеанского происхождения на формирование локальных гидрологических условий.

3.2 Уровень арктических морей

Характеристика особенностей колебаний уровня арктических морей за период с января по март 2011 г. составлена по данным четырехсрочных наблюдений на 15-ти станциях, расположенных в морях Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском (табл. 3.2). В Чукотском море, к сожалению, наблюдения за уровнем моря не производились ни на одной из станций.

Таблица 3.2 – Полярные станции, на которых осуществлялись наблюдения за колебаниями уровня в период январь – март 2011 г.

Станция	Широта	Долгота
Карское море		
Амдерма	69 45 N	61 42 E
Усть-Кара	69 15 N	64 31 E
Сопочная Карга	71 52 N	82 42 E
о. Диксон	73 30 N	80 24 E
о-ва Известий ЦИК	75 57 N	82 57 E
о. Визе	79 30 N	76 59 E
о. Голомянный	79 33 N	90 37 E



Станция	Широта	Долгота
м. Стерлегова	75 25 N	88 54 E
ГМО им.Е.К.Фёдорова	77 43 N	104 17 E
море Лаптевых		
Анабар	73 13 N	113 30 E
о. Дунай	73 56 N	124 30 E
пр. Санникова	74 40 N	138 54 E
м. Кигилях	73 20 N	139 52 E
о. Котельный	76 00 N	137 52 E
Восточно–Сибирское море		
Певек	69 42 N	170 15 E

В юго–западной части Карского моря (рис. 3.4) колебания уровня в январе и феврале происходили около среднееголетних значений ($-5 +4$), в марте средний фон колебаний уровня в этой части Карского моря вырос до $+7 +12$ см. Наибольший подъем уровня в юго–западной части Карского моря отмечался в марте, когда уровень на станции Амдерма поднялся на 69 см выше среднееголетнего значения. Наиболее существенные понижения уровня -55 см и -59 см было зарегистрировано на станции Усть–Кара 11 января и на станции Амдерма 19 марта 2011 года соответственно.

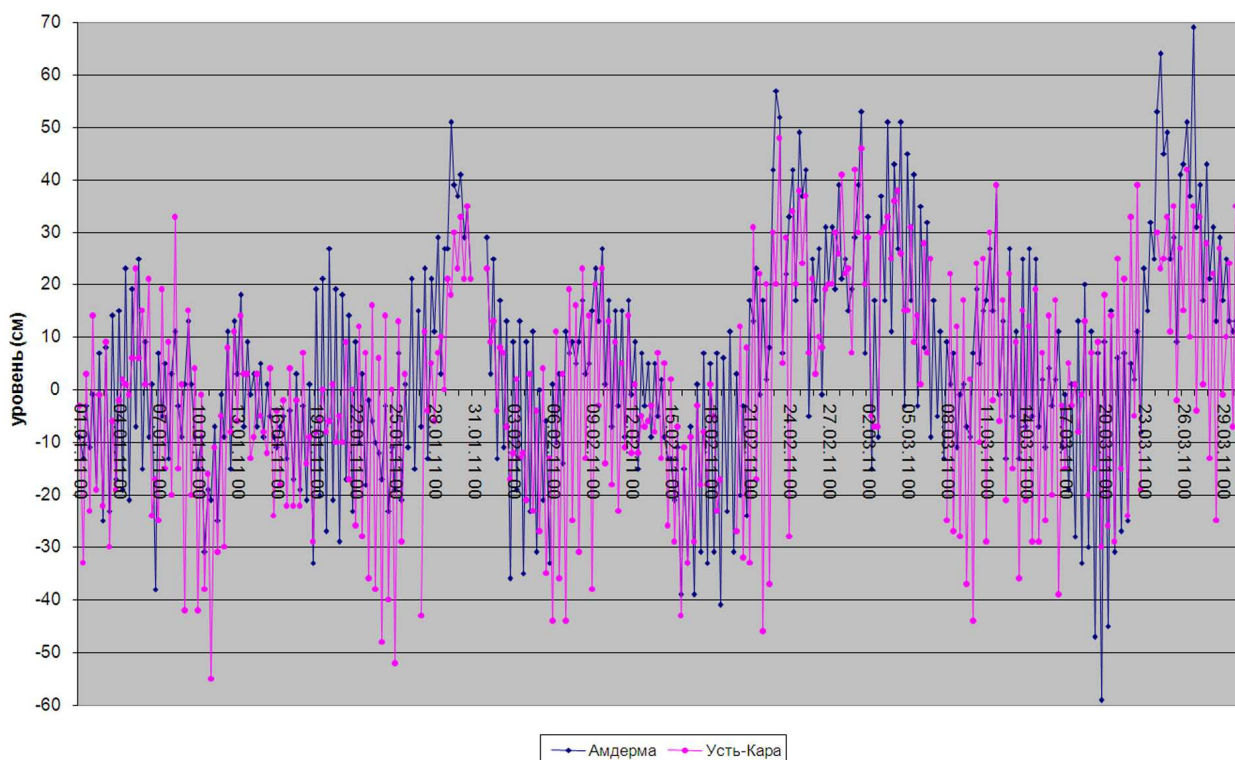


Рисунок 3.4 – Колебания уровня на станциях юго–западной части Карского моря в январе–марте 2011 г.

В северной части Карского моря (рис. 3.5) колебания уровня, как и в юго–западной, части моря, в январе и феврале происходили около среднееголетних значений ($-7 +6$ см), в марте на



повышенном фоне (+16 +18 см). Наиболее значительный подъем уровня в этом районе отмечался 23 февраля, когда на станциях о. Визе и о. Голомянный уровень поднялся на 45 см и 70 см выше среднемноголетнего значения соответственно. Наиболее существенные понижения уровня наблюдались также в феврале (–33 см –37 см).

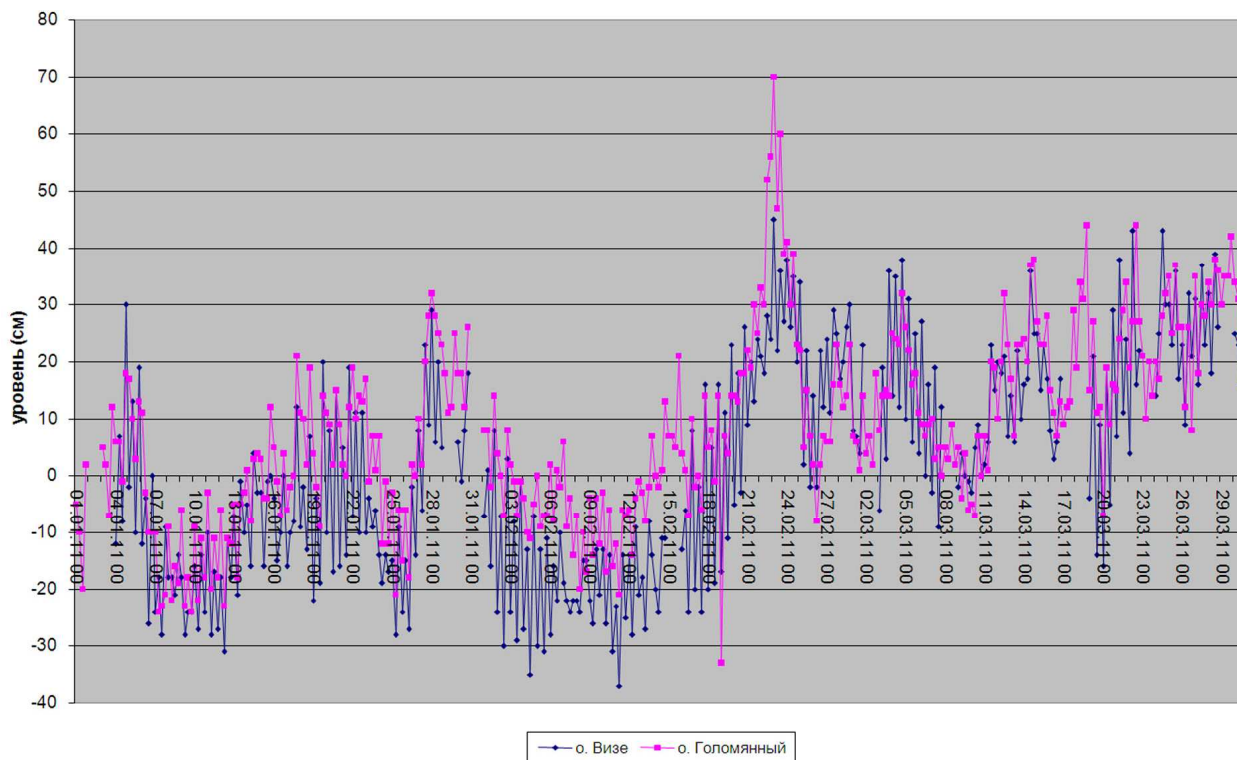


Рисунок 3.5 – Колебания уровня на станциях северной части Карского моря в январе–марте 2011 г.

Фон колебаний уровня в восточной части Карского моря (рис. 3.6) в январе был пониженным (–8, –12 см), в феврале значения приблизились к среднемноголетним, а в марте повысились до +17см +24 см.

Наиболее значительный подъем уровня у юго–западного побережья Таймыра наблюдался 22, 23 и 24 февраля 2011 г., в эти дни на станциях, м. Стерлегова, Сопочная Карга и о. Диксон уровень моря был наибольшим (+91 см, +95 см и +87 см выше среднемноголетнего значения соответственно).

Наиболее существенные понижения уровня наблюдались 9 февраля на станциях о. Диксон и Сопочная Карга (–62 см –70 см).

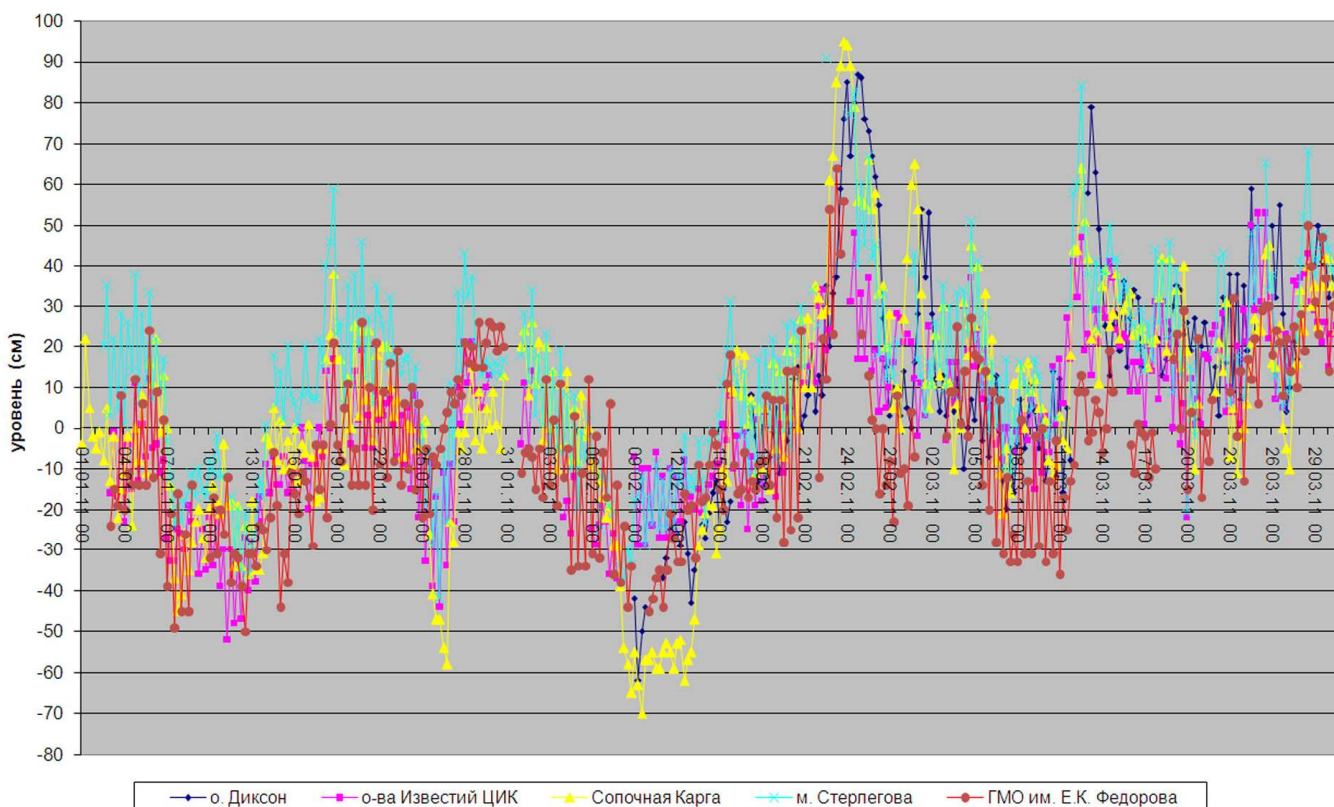


Рисунок 3.6 – Колебания уровня на станциях восточной части Карского моря в январе–марте 2011 г.

Колебания уровня на станции Анабар в юго–западной части моря Лаптевых (рис. 3.7) на протяжении января и февраля происходили на пониженном фоне (–8 –14 см), а в марте среднемесячное значение уровня поднялось до +28 см.

Наибольшие подъемы уровня наблюдались 27 февраля (+99 см) и 23 марта (+92 см). Наибольшее значительное понижение уровня было отмечено 11 февраля (–69 см) и 15 января (–68 см).

В восточной части моря Лаптевых (рис. 3.8) фон колебаний уровня был преимущественно положительным, более сильно выраженным на станциях о–ва Дунай (+10 +28 см), пр. Санникова (+10 +17 см) и о. Котельный (+8 +29 см) и менее значительным на станции м. Кигилях (–3 +9 см).

Наибольшие подъемы уровня в этом районе отмечались в конце января и марта, так 24 января и 19 марта уровень на станции о–ва Дунай поднялся на 80 и 82 см выше среднемноголетнего значения соответственно, а на станции Котельный 22 марта на 93 см. Наибольшие понижения уровня составляли –46 и –59 см и отмечались в феврале на станции о–ва Дунай и январе на станции м. Кигилях.

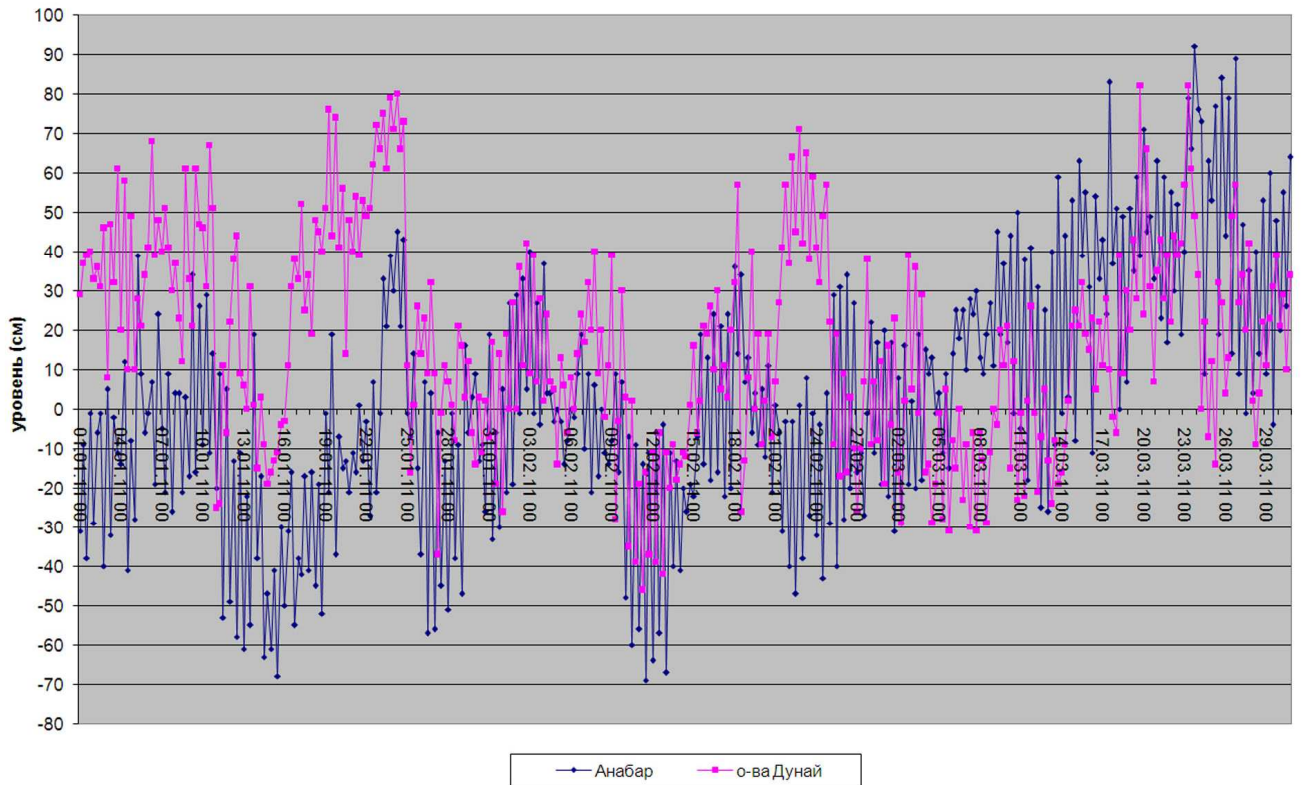


Рисунок 3.7 – Колебания уровня в западной части моря Лаптевых в январе–марте 2011 г.

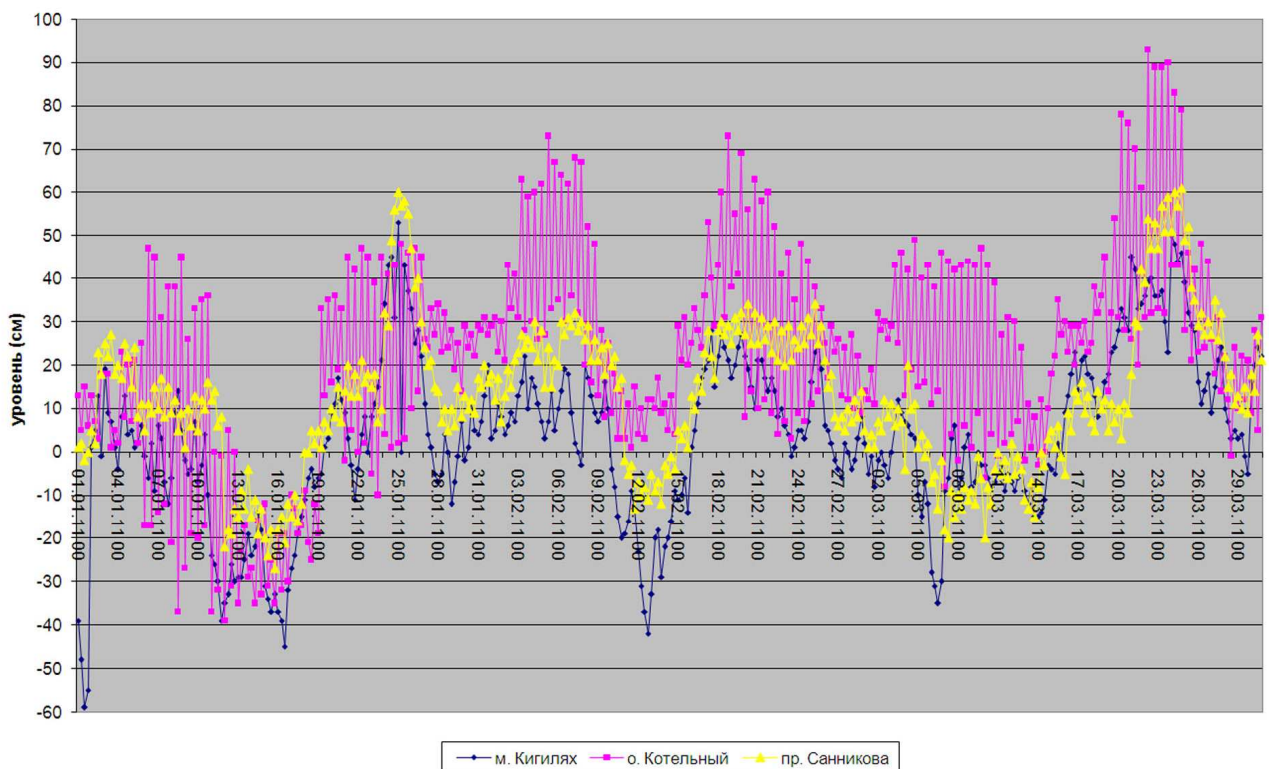


Рисунок 3.8 – Колебания уровня на станциях восточной части моря Лаптевых в январе–марте 2011 г.



В Восточно–Сибирском море в январе – марте колебания уровня происходили на повышенном фоне, составлявшем по данным наблюдений на станции Певек +10 +28 см (рис. 3.9). Наиболее значительный подъем (+74 см) уровня на станции Певек отмечался 26 января, наибольшее понижения (–27 см) уровня отмечалось в марте.

Наблюдений за колебаниями уровня на станциях, расположенных в Чукотском море в первые три месяца 2011 г. не производилось, в связи с чем, дать какую–либо оценку особенностей колебаний уровня этого моря не представляется возможным.

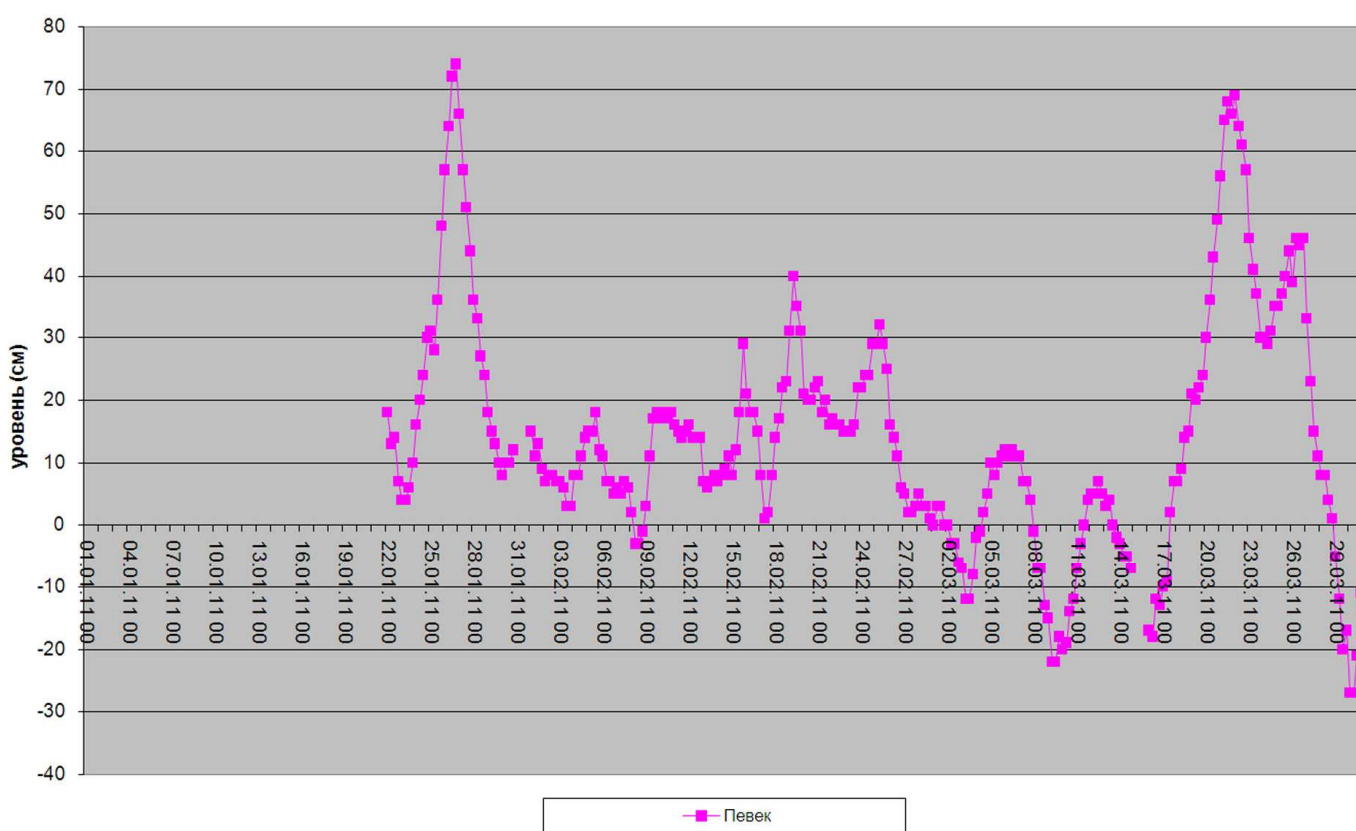


Рисунок 3.9 – Колебания уровня в Восточно–Сибирском море в январе–марте 2011 г.

3.3 Ветровое волнение на акватории арктических морей

По результатам модельных расчетов была выполнена оценка повторяемости максимумов значительных высот волн (H_s – significant wave height, обеспеченность 13 %) в арктических морях России для 3–х месяцев 2011 г. (с января по март). Расчеты морского волнения осуществлялись с использованием последней версии спектрально–параметрической модели ветрового волнения ААНИИ (AARI-PD2) [9].



Основными исходными данными в расчетах являлись поля составляющих скоростей ветра на высоте 10 м, температура воздуха на высоте 2 м, а также батиметрические данные в узлах расчетной сетки. Положение кромки льда задавалось путем ежедневного усвоения спутниковых многоканальных микроволновых данных (SSM/I и AMSR) по сплоченности морского льда.

Сведения о распределении высот волн H_s для Баренцева моря приведены в табл. 3.3. Акватории морей Карского, Лаптевых, Восточно–Сибирского и Чукотского в этот период были покрыты льдом.

Таблица 3.3 – Повторяемость (число дней) различных градаций высот волн (H_s) в Баренцевом море в первом квартале 2011 г.

Месяц	Градации высот волн, м									Дни
	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9	
Январь	–	1	6	4	12	6	1	1	–	31
Февраль	–	1	9	1	8	4	4	1	–	28
Март	–	2	3	5	6	5	3	6	1	31
Итого	–	4	18	10	26	15	8	8	1	90

Как видно из приведенных в табл. 3.3 данных, в 1 квартале 2011 года на акватории моря в большинстве случаев развивалось волнение в диапазоне высот от 4 до 5 м.

Число случаев, когда высота волн на акватории Баренцева моря превышала 5 м, составило:

- 8 (26 %) – в январе;
- 9 (32 %) – в феврале;
- 15 (48 %) – в марте.

Процент штормовой активности и сведения из табл. 3.3 показывают, что наиболее штормовым месяцем в первом квартале 2011 г. стал март, в течение которого 7 раз высоты волн превышали 7 м, причем 9 марта 2011 г. (18 ч) волнение на входе в Баренцево море превысило 8,5 м. В южной и юго–западных частях моря наиболее сильное волнение (до 7,5 м) было рассчитано для 23 марта (18 ч) и 24 марта (0 ч).

В январе и феврале 2011 г. наибольшие высоты волн были рассчитаны для 11–12 января (волнение до 7,5 м 11.01.2011, 18 ч) и 26–28 февраля (волнение до 8,0 м, 27.02.2011, продолжительность шторма 3 дня).

На рисунке 3.10, в качестве примера, приведено поле ветра и высот волн H_s на 0 ч 24 марта 2011 г.

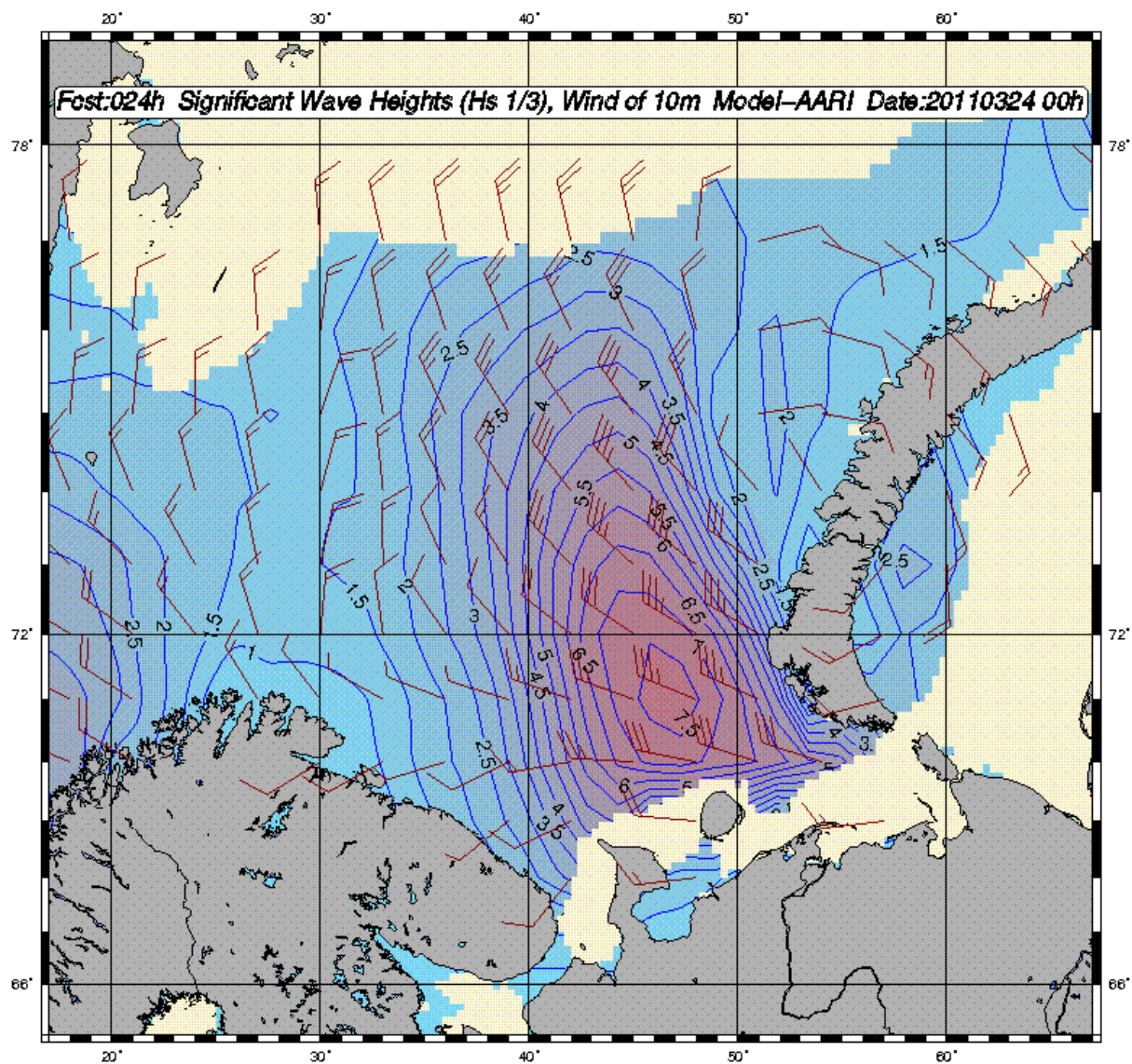


Рисунок 3.10 – Поле ветра и высот волн (H_s , м) в Баренцевом море на 0 ч UTC 24 марта 2011 г.



Список литературы

1. Александров Е.И., Дементьев А.А. База приземных метеорологических данных полярных районов и ее использование. В кн.: Формирование базы данных по морским льдам и гидрометеорологии.– СПб: Гидрометеоздат, 1995.– С. 67–75.
2. Arctic Climatology Project. 2000. Environmental Working Group Arctic Meteorology and Climate Atlas. Edited by F. Fetterer and V. Radionov. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. CD-ROM.
3. <http://www.aari.nw.ru>.
4. Лугина К.М., Сперанская Н.А. Изменчивость средней годовой приземной температуры воздуха в высоких широтах северного полушария//Тр. ГГИ.–1984.– № 295.– С. 87–97.
5. Cavalieri, D., C. Parkinson, P. Gloersen, and H. J. Zwally. 1996, updated 2008. *Sea Ice Concentrations from Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I Passive Microwave Data*, [1978.10.26 – 2007.12.31]. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.
6. Meier, W., F. Fetterer, K. Knowles, M. Savoie, M. J. Brodzik. 2006, updated quarterly. *Sea Ice Concentrations from Nimbus-7 SMMR and DMSP SSM/I Passive Microwave Data*, [2008.01.01 – 2008.03.25]. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.
7. Maslanik, J., and J. Stroeve. 1999, updated daily. *Near-Real-Time DMSP SSM/I-SSMIS Daily Polar Gridded Sea Ice Concentrations*, [2008.03.26 – 2011.04.09]. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.
8. National Snow and Ice Data Center. 2003. Meteorological Data from the Russian Arctic, 1961–2000. V. Radionov, compiler. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. Digital media. <http://nsidc.org/data/g02141.html>.
9. Давидан И.Н., Давидан Г.И., Дымов В.И., Пасечник Т.А. Модифицированная версия спектрально–параметрической модели ветрового волнения и результаты ее верификации – Изв.РГО. 2010. Т. 142. Вып. 2