

## Научная статья

УДК 551.513

DOI: 10.24412/2658-4255-2025-1-47-56



EDN: WHTIOM

## Для цитирования:

Ильющенко И.А.,  
Коржиков А.Я. Формирование  
аномалий температуры  
воздуха в районе пролива  
Вилькицкого в холодный  
период года на фоне текущего  
потепления Арктики //  
Российская Арктика. 2025.  
Т. 7. № 1. С. 47-56.  
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2025-1-47-56>

Получена: 07.04.2025

Принята: 21.04.2025

Опубликована: 23.04.2025

## For citation:

Ilyushchenkova IA,  
Korzhirov AYa. The formation  
of air temperature anomalies  
in the Vilkitsky Strait area during  
the cold season due to the  
current warming of the Arctic.  
*Russian Arctic*. 2025;7(1):47-56.  
(In Russ.)  
<https://doi.org/10.24412/2658-4255-2025-1-47-56>

## Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии  
конфликта интересов

## Финансирование.

Исследование выполнено  
в рамках НИТР 5.1  
Росгидромета на 2025–2029 гг.  
«Развитие моделей, методов  
и технологий мониторинга и  
прогнозирования состояния  
атмосферы, океана, морского  
ледяного покрова, ледников и  
вечной мерзлоты, процессов  
взаимодействия льда с  
природными объектами и  
инженерными сооружениями  
для Арктики»



## ФОРМИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ ПРОЛИВА ВИЛЬКИЦКОГО В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА НА ФОНЕ ТЕКУЩЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ АРКТИКИ

И.А. Ильющенко\* , А.Я. Коржиков Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, РоссияE-mail: \*[ilyushenkova@aari.ru](mailto:ilyushenkova@aari.ru)

## Аннотация

Проблема изменения климата в Арктике, в частности на трассе Северного морского пути, активно изучается в последние десятилетия. Одним из ключевых районов, определяющих навигационные условия на трассе Северного морского пути, является пролив Вилькицкого. Температурный режим в этом районе играет важную роль в формировании ледовых условий. Целью исследования является анализ изменений температуры воздуха в районе пролива Вилькицкого в холодный период года за период 1990–2024 гг., выявление тенденций температурных аномалий и их связи с особенностями атмосферной циркуляции, определение типов атмосферной циркуляции, влияющих на температурный режим в районе пролива Вилькицкого. Для проведения анализа использованы данные Объединенной гидрометеорологической обсерватории им. Е. Федорова (мыс Челюскин), а также данные реанализа NCEP/NCAR. В ходе работы выявлены закономерности в режиме температуры воздуха. В ноябре, декабре и феврале наблюдается устойчивая тенденция роста средних месячных температур воздуха. В октябре и январе до 2020 года фиксировался рост температур, после 2020 года наметилась тенденция к их понижению. В марте температура воздуха характеризуется значительными колебаниями, близкими к среднему климатическому значению, что, вероятно, связано с сезонной перестройкой атмосферной циркуляции. Анализ взаимосвязи температурных аномалий показал, что значения температуры в октябре оказывают значительное влияние на температурный режим последующих месяцев холодного периода. Чем выше по абсолютной величине октябрьские аномалии температуры воздуха, тем больше вероятность их сохранения в течение зимних месяцев. Выделены пять типов распределения аномалий температуры воздуха, различающиеся по характеру изменения температуры в течение холодного периода, а также по характеру атмосферной циркуляции в средней тропосфере и на уровне моря.

**Ключевые слова:** Арктика, атмосферная циркуляция, потепление Арктики, приземная температура воздуха, пролив Вилькицкого, Северный морской путь, циркумполярный вихрь

## THE FORMATION OF AIR TEMPERATURE ANOMALIES IN THE VILKITSKY STRAIT AREA DURING THE COLD SEASON DUE TO THE CURRENT WARMING OF THE ARCTIC

I.A. Ilyushchenkova\* , A.Ya. Korzhikov 

Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

E-mail: \*[ilyushenkova@aari.ru](mailto:ilyushenkova@aari.ru)

## Abstract

The problem of climate change in the Arctic, particularly along the Northern Sea Route, has been actively studied in recent decades. One of the key

areas determining navigation conditions along the Northern Sea Route is the Vilkitsky Strait. The temperature regime in this area plays an important role in the formation of ice conditions. The purpose of the study is to analyze changes in air temperature in the Vilkitsky Strait area during the cold period from 1990 to 2024, identify trends in temperature anomalies and their relationship to atmospheric circulation features, and determine the types of atmospheric circulation that affect the temperature regime in the Vilkitsky Strait area. The data from the United Hydrometeorological Observatory named after E. Fedorov (Cape Chelyuskin) weather station and the NCEP/NCAR reanalysis data were used for the analysis. In the course of the work, some patterns in the air temperature regime were revealed. In November, December and February, there is a steady upward trend in average monthly air temperatures. In October and January, temperatures increased until 2020, but after 2020, there is negative trend. In March, air temperature is characterized by fluctuations about long-term norm, which is probably due to seasonal changes in atmospheric circulation. An analysis of the relationship between temperature anomalies showed that the temperature values in October have a significant impact on the temperature regime of the following months of the cold period. The higher the October temperature anomalies are in absolute magnitude, the more likely they are to persist during the winter months. Five types of distribution of air temperature anomalies are identified. The types differ in the nature of temperature changes and atmospheric circulation in the middle troposphere and at sea level.

**Keywords:** Arctic, Arctic warming, atmosphere circulation, circumpolar vortex, Northern Sea Route, surface air temperature, Vilkitsky Strait

## Введение

За последние несколько десятилетий среднегодовая приземная температура воздуха повысилась более чем на 1 °C [1]. Исследование режима температуры воздуха вдоль трассы Северного морского пути (СМП) приобретает актуальное значение в настоящее время [2], в Арктическом регионе изменение приземной температуры воздуха отмечается с более высокой скоростью [3]. Ученые отмечают изменения в ледовых условиях на трассе Северного морского пути в последние десятилетия [4], изменения проявляются различными направлениями, сокращением площади льда [5, 6], более поздним ледообразованием [7], сокращением количества остаточных льдов [8]. Есть участки, где к ледовым условиям существует повышенный интерес. Условия на трассе СМП во многом определяются ледовитостью на подходах к проливам [9, 10]. К одним из них относится пролив Вилькицкого, соединяющий моря Карское и Лаптевых [11]. Режим температуры воздуха здесь влияет на формирование ледовых условий как в самом проливе, так и в прилегающих районах арктических морей, где располагаются Североземельский и Таймырский ледовые массивы. Особый интерес вызывает холодный период года (октябрь-март), когда под воздействием температурного режима на трассе формируется основная масса льда, ограничивающая круглогодичное судоходство. Установление закономерностей в атмосферной циркуляции и формирующихся аномалиях температуры воздуха является важным аспектом в совершенствовании методик прогнозирования синоптических условий. Многие работы посвящены изучению связей между изменениями ледовитости и характеристик макроциркуляционных процессов [12, 13]. В Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте на протяжении многих десятилетий совершенствуются методы прогнозирования на основе анализа макроциркуляционных процессов как в целом по Арктике [14], так и для различных районов [15] и сезонов [16].

Цель работы состоит в выявлении особенностей режима температуры воздуха в районе пролива Вилькицкого и атмосферной циркуляции на уровне моря и в средней тропосфере в холодное время года с октября по март в период с 1990 по 2024 гг.

## Методы и район исследования

В работе использована информация о среднемесячной температуре воздуха на полярной станции мыс Челюскина (ОГМО им. Е. Федорова, индекс ВМО 20292), расположенной в координатах 77.7° с.ш. 104.3° в.д., данные доступны в архивах

ВНИИГМИ-МЦД<sup>1</sup>. Для анализа атмосферного давления на уровне моря и высоте стандартной изобарической поверхности 500 гПа использованы данные реанализа NCEP/NCAR<sup>2</sup>.



Рисунок 1. Объединенная гидрометеорологическая обсерватория (ОГМО им. Е. Федорова) расположена на мысе Челюскина, год открытия 1932

Станция мыс Челюскин (рис. 1) – одна из старейших станций России на трассе СМП. Данные, получаемые со станции, являются репрезентативными и надежно отражают синоптические процессы, развивающиеся над районом пролива Вилькицкого [17].

В качестве основных методов исследования временных рядов использованы статистический анализ, проведена оценка линейного и полиномиального трендов, рассмотрено стандартное среднеквадратическое отклонение, проведен корреляционный анализ, оценка статистической значимости проводилась по t-критерию Стьюдента.

### Результаты исследования

В первые месяцы рассматриваемого холодного периода с октября по март средняя месячная приземная температура воздуха (ПТВ) понижается на 15°C, с –9,5°C в октябре до –24°C в декабре. Затем, в декабре-марте значение температуры находятся в пределах –24 – –27°C (табл. 1). Стандартные отклонения ПТВ составляют 3,5–3,8°C. Однако, в феврале изменчивость увеличивается до 4,7°C.

Таблица 1

Средняя месячная ПТВ, оценка погрешности среднего (SE) и стандартное отклонение ( $\sigma$ ) на мысе Челюскина в холодный период года за временной ряд с 1990 по 2024 года

Параметр	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Среднее, °C	-9,5	-18,8	-24,0	-27,0	-26,5	-25,2
SE, °C	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6
$\sigma$ , °C	3,9	3,5	3,6	3,7	4,7	3,4

Ряды средних месячных аномалий ПТВ ( $\Delta T$ ) воздуха, рассчитанные относительно средней климатической нормы 1991–2020 гг., в холодный период с 1990 г. по 2024 г. нельзя отнести к стационарным (рис. 2). В октябре временные изменения аномалий температуры воздуха имеют положительный линейный тренд с показателем достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,50$ . Однако, после 2020 года наметилась тенденция смены тренда на отрицательный. На это указывает полиномиальный тренд второй степени с достоверностью аппроксимации  $R^2 = 0,56$ , см. рис. 2а. В ноябре, в отличие от октября, прослеживается устойчивая тенденция повышения температуры воздуха в течение всего исследуемого ряда лет (см. рис. 2б). На это указывает как линейный положительный тренд  $\Delta T$  ( $R^2 = 0,30$ ), так и полиномиальный тренд  $\Delta T$  второй степени ( $R^2 = 0,41$ ).

В декабре, как и в ноябре, сохраняется тип межгодовых изменений  $\Delta T$ : положительный линейный тренд имеет достоверность аппроксимации  $R^2 = 0,36$ , а аппроксимация полиномом второй степени составляет  $R^2 = 0,37$ , см. рис. 2в.

<sup>1</sup> ВНИИГМИ-МЦД <http://meteo.ru/data/>

<sup>2</sup> Physical Sciences Laboratory. URL: <https://downloads.psl.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis.dailyavgs/surface/>

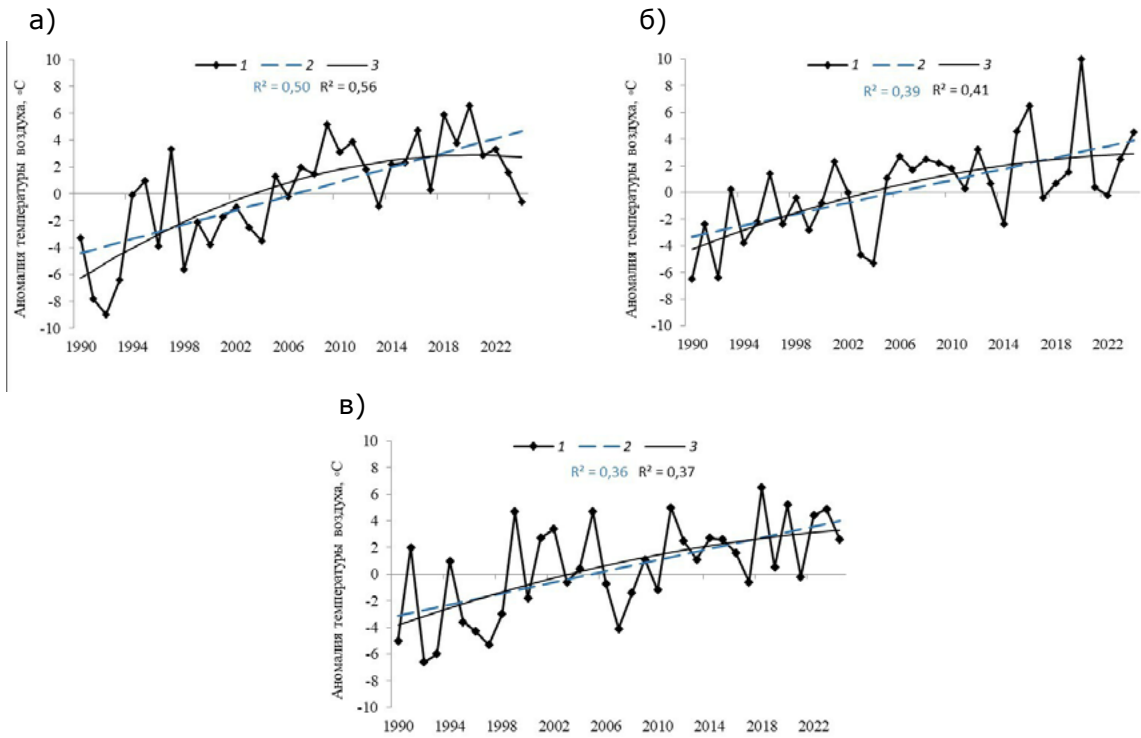


Рисунок 2. Межгодовая изменчивость аномалий средних месячных ПТВ в октябре (а), ноябре (б) и декабре (в) на мысе Челюскина за период 1990–2024 гг. 1 – средняя за месяц аномалия ПТВ, °С, 2 – линейный тренд, 3 – полиномиальный тренд второй степени

В январе сохраняются тенденции роста температур воздуха, но только до 2016 года. После 2016 года, как видно по линии полиномиального тренда  $\Delta T$  второй степени  $R^2 = 0,36$ , наметилась тенденция понижения температуры воздуха, рис. 3а. Такая же тенденция характерна и для октября – первого месяца холодного периода.

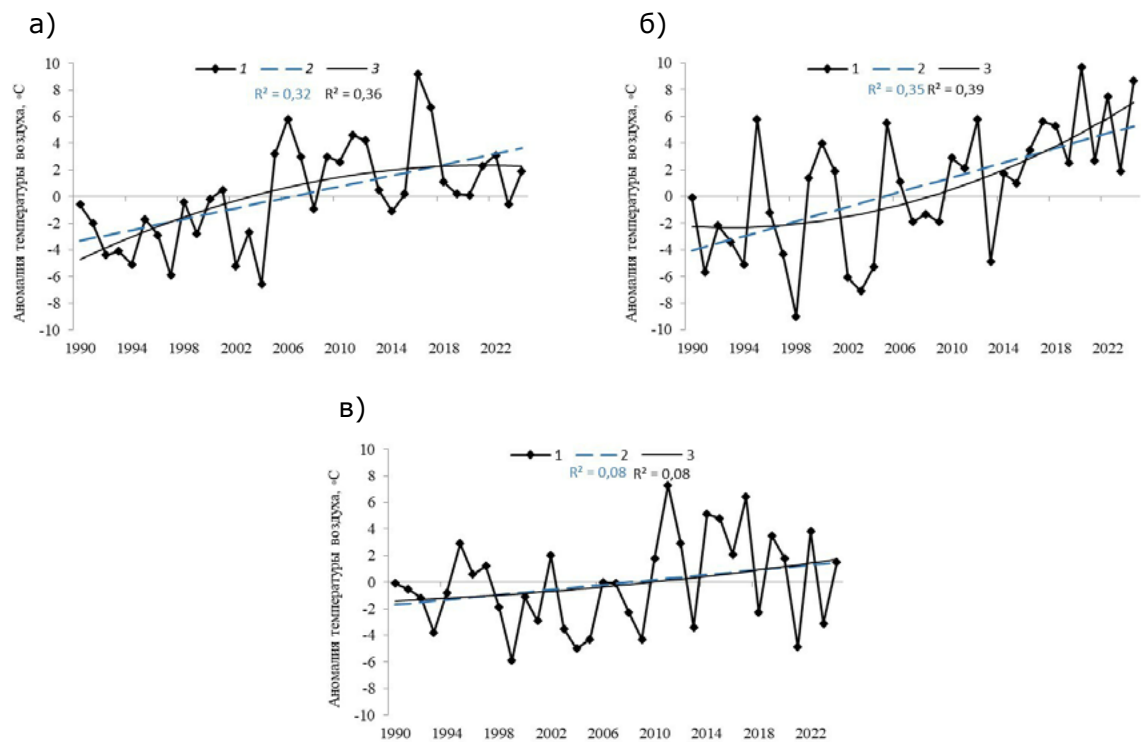


Рисунок 3. Межгодовая изменчивость аномалий средних месячных ПТВ в январе (а), феврале (б) и марте (в) на мысе Челюскина за период 1990–2024 гг. 1 – средняя за месяц аномалия ПТВ, °С, 2 – линейный тренд, 3 – полиномиальный тренд второй степени



В феврале прослеживаются тенденции, сложившиеся в ноябре и декабре: в течение всего исследуемого ряда лет наблюдается устойчивая тенденция роста температуры воздуха (рис. 3б).

Изменения  $\Delta T$  в марте существенно отличаются от остальных месяцев холодного периода. В марте почти отсутствует линейный положительный тренд, достоверность аппроксимации составляет  $R^2 = 0,08$  и статистически незначима, рис. 3в. По всей видимости, в марте начинается сказываться весенняя перестройка барического поля в Арктике: на район пролива Вилькицкого вместо западной периферии атлантической депрессии начинает влиять южная периферия антициклонического поля, формирующегося над Северным Ледовитым океаном [18].

Таким образом, изменения средних температур воздуха над проливом Вилькицкого в холодный период года не во всех месяцах однонаправленны:

- в ноябре, декабре и феврале прослеживается устойчивая тенденция роста средних месячных температур воздуха;
- в октябре и январе устойчивый рост температуры воздуха в период 2017–2020 гг. сменяется тенденцией ее понижения;
- в марте наблюдаются колебания температуры, близкие к средней климатической норме.

### Статистические связи между температурой воздуха в различные месяцы

Представляет интерес рассмотреть корреляционные связи средних месячных  $\Delta T$  между месяцами холодного периода. С этой целью вычислена матрица парных корреляций  $\Delta T$  (табл. 2).

Таблица 2

Прямоугольная матрица парных коэффициентов корреляции средних месячных аномалий ПТВ на мысе Челюскина в холодные периоды года за временной ряд с 1990 по 2024 гг.

	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Октябрь	1,00	<b>0,60</b>	<b>0,51</b>	<b>0,62</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>
Ноябрь		1,00	<b>0,40</b>	<b>0,49</b>	0,23	0,21
Декабрь			1,00	<b>0,40</b>	<b>0,45</b>	0,22
Январь				1,00	<b>0,57</b>	<b>0,34</b>
Февраль					1,00	<b>0,38</b>
Март						1,00

Примечание: полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции при уровне значимости 0,05

Корреляционный анализ между месяцами показывает, что в большинстве месяцев отмечается значимая положительная корреляционная связь. Однако величина связи колеблется от средней к слабой. Интересно то, что на фоне месяцев холодного периода выделяется октябрь, который имеет самые высокие значения связи с последующими месяцами с ноября по январь ( $r = 0,51-0,62$ ). В феврале и марте она уменьшается до 0,4.

В зависимости от величины формирующихся в октябре аномалий температуры воздуха выявляются некоторые закономерности сохранения знака «октябрьских» аномалий в остальных месяцах холодного периода (рис. 4а). Так, например, при возникновении в октябре отрицательных аномалий меньших или равных  $-2^\circ\text{C}$ , в 90% случаев отрицательный знак аномалий сохраняется в трех-пяти последующих месяцах. При формировании в октябре отрицательных аномалий температуры воздуха выше  $-2^\circ\text{C}$ , но меньше  $0^\circ\text{C}$ , в 80% случаев отрицательный знак аномалий сохраняется в 1–3 месяцах.

Аналогичная тенденция прослеживается и для положительных аномалий (рис. 4б). Если в октябре формируются положительные аномалии температуры воздуха от  $2^\circ\text{C}$  и выше, в 77% случаев знак «октябрьских» аномалий прослеживается в течение последующих 3–5 месяцев. В случае возникновения положительных аномалий ниже  $2^\circ\text{C}$ , знак «октябрьских» аномалий наблюдается в 1–3 месяцах в 67% случаев.

Таким образом, чем выше по абсолютной величине аномалии ПТВ, формирующиеся в районе пролива Вилькицкого в октябре, тем больше вероятность сохранения знака «октябрьских» аномалий в течение остальных месяцев холодного периода.

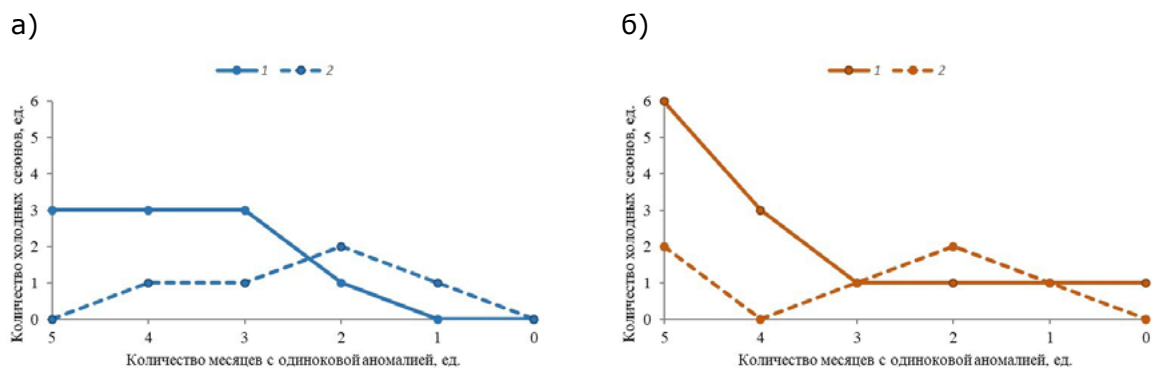
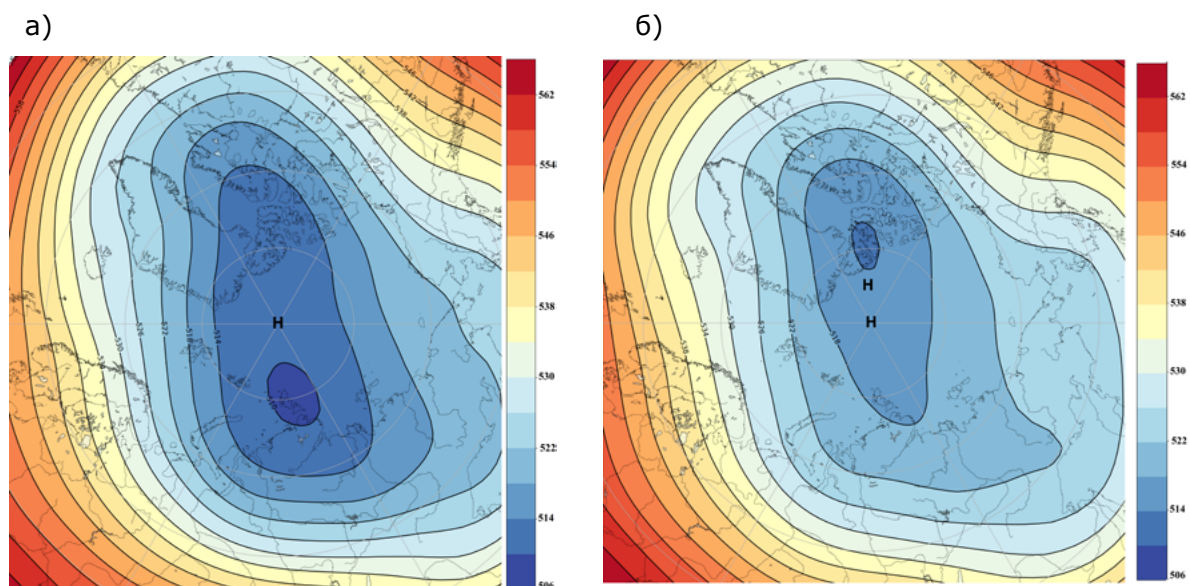


Рисунок 4. Повторяемость количества месяцев в холодном периоде, в которых знак формирующихся отрицательных  $\Delta T$  (а) и положительных  $\Delta T$  (б), совпадает со знаком  $\Delta T$  в октябре. 1 – повторяемость для случаев, когда в октябре  $\Delta T$  меньше или равно  $-2^{\circ}\text{C}$ ; 2 – повторяемость для случаев, когда в октябре  $\Delta T$  больше  $-2^{\circ}\text{C}$ , но меньше  $0^{\circ}\text{C}$

### Особенности циркуляции атмосферы при формировании режимов температуры воздуха различных типов в районе пролива Вилькицкого в холодный период года

Анализ изменений аномалий ПТВ в месяцах холодного периода года позволил выявить пять принципиально отличающихся типов распределения аномалий ПТВ. Для типа 1 характерно формирование отрицательных  $\Delta T$  во всех месяцах холодного периода. При типе 2, наоборот, во всех месяцах наблюдаются положительные  $\Delta T$ . Тип 3 отличается положительными  $\Delta T$  в первой половине (октябрь–декабрь) холодного периода и отрицательными во второй половине с января по март. При типе 4, наоборот, первая половина периода отличается отрицательными  $\Delta T$ , вторая – положительными. И, наконец, тип 5, самый многочисленный, характеризуется отсутствием преобладания  $\Delta T$  одного знака.

Рассмотрим особенности циркуляции атмосферы при типе 1, когда в течение всего холодного периода наблюдаются отрицательные  $\Delta T$ , рис. 5. В первой половине с октября по декабрь холодного периода на уровне стандартной изобарической поверхности 500 гПа над арх. Северная Земля, п-овом Таймыр располагается циклонический вихрь, что указывает на локализацию холодной воздушной массы над Карским морем и проливом Вилькицкого (рис. 5а). При этом барическая ложбина североатлантической депрессии ориентирована от севера Норвежского моря на юго-запад Карского моря (см. рис. 5в). В соответствии с ориентацией барической ложбины североатлантической депрессии циклоны от Норвежского моря будут перемещаться на юг Баренцева моря и далее на северные районы Обской губы и Енисейского залива. В этой связи, Карское море, Северная Земля, пролив Вилькицкого оказываются под влиянием холодных арктических воздушных масс, поступающих в северных и северо-восточных секторах циклонов, а также в антициклонах, формирующихся над полярным бассейном. Последнее обстоятельство определяет возникновение и устойчивое сохранение отрицательных  $\Delta T$  как над проливом Вилькицкого, так и над другими районами Арктики (рис. 6а).



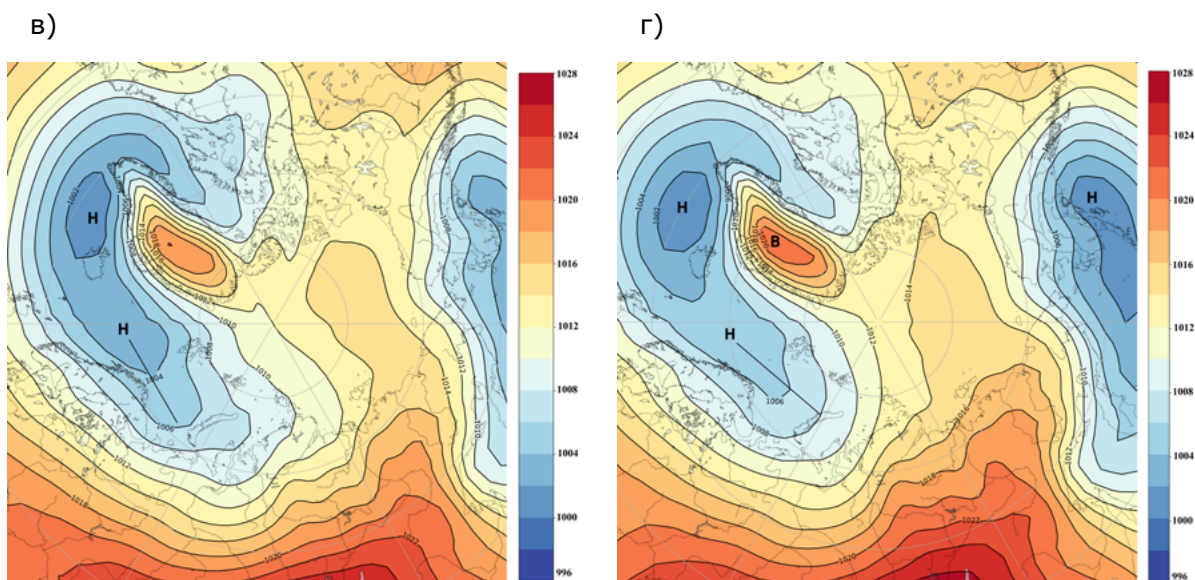


Рисунок 5. Композитные карты геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа, гп. м и карты приземного поля давления, гПа в холодный период года, при 1 типе распределения аномалий ПТВ (а и в, соответственно) и при 2 типе распределения аномалий ПТВ (б и г, соответственно)

Во второй половине холодного периода с января по март при типе 1 сохраняется направленность атмосферных процессов, сложившаяся в октябре–декабре.

При типе 2 в октябре–декабре барическая ложбина циркумполярного вихря, в отличие от типа 1, смещена на запад моря Лаптевых (см. рис. 5б). В этой связи, ведущий поток на уровне стандартной изобарической поверхности 500 гПа направлен от Гренландского моря на Карское море. У поверхности земли барическая ложбина североатлантической депрессии от севера Норвежского моря ориентирована на арх. Новая Земля и Карское море (см. рис. 5г). Соответственно, североатлантические циклоны от Баренцева моря смещаются на акваторию Карского моря, приносят теплые воздушные массы и способствуют формированию над Арктикой и проливом Вилькицкого положительных  $\Delta T$  (рис. 6б). В январе–марте сохраняются тенденции, сложившиеся в первой половине холодного периода типа 2. Более того, происходит усиление циклогенеза над севером Норвежского моря и Баренцевым морем, что вызывает усиление адвекции теплых воздушных масс в Арктику, в район пролива Вилькицкого.

Макропроцессы типов 3 и 4 развиваются по сценариям процессов 1 и 2. В случае типа 3 первая половина холодного периода с октября по декабрь, когда преобладают положительные  $\Delta T$  в районе пролива Вилькицкого, наблюдаются процессы типа 2 (см. рис. 5б и рис. 5г), при которых барическая ложбина циркумполярного вихря на высоте изобарической поверхности 500 гПа направлена на Карское море. Во второй половине холодного периода с января по март барическая ложбина циркумполярного вихря смещена на п-ов Таймыр, что вызывает смещение на юг траекторий североатлантических циклонов и формирование в районе пролива Вилькицкого преобладающих отрицательных  $\Delta T$  (см. рис. 6а).

При типе 4 в октябре–декабре преобладают отрицательные  $\Delta T$ , чему способствует локализация ложбины циркумполярного вихря на высоте изобарической поверхности 500 гПа над арх. Северная Земля и п-овом Таймыр, что характерно для процессов типа 1 (см. рис. 5а и рис. 5в). В январе–марте, когда при типе 4 преобладают положительные  $\Delta T$ , атмосферные процессы развиваются по варианту типа 2. Указанный процесс в холодный период наблюдается крайне редко: всего три случая с 1990 по 2024 гг.

Пятый тип макропроцессов характеризуется формированием  $\Delta T$  как положительного так и отрицательного знаков. Величина  $\Delta T$  не превышает величины среднеквадратического отклонения. Подобный температурный режим в районе пролива Вилькицкого отмечается в случаях, когда барической полем на высоте изобарической поверхности 500 гПа и на уровне моря в холодный период года близки к средней климатической норме. Следует сказать, что это наиболее часто повторяющийся тип макропроцессов: имел место в 10 случаях из 35 рассмотренных в исследовании.



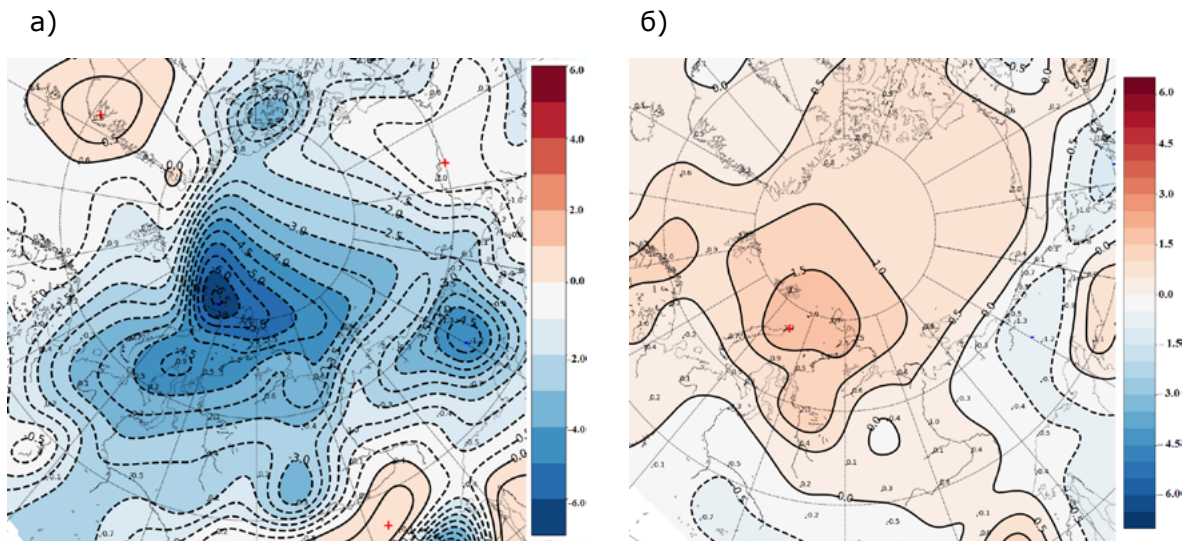


Рисунок 4. Композитные карты аномалий ПТВ, °С, при 1 типе распределения аномалий ПТВ (а) и при 2 типе распределения аномалий ПТВ (б) в холодный период года

### Обсуждение полученных результатов и выводы

В результате анализа аномалий приземной температуры воздуха в холодный период года с 1990 по 2024 гг. выявлены особенности изменения средних ПТВ над проливом Вилькицкого в месяцах холодного периода года с октября по март. За этот период для ноября, декабря и февраля прослеживается устойчивая тенденция роста средних месячных ПТВ. В октябре и январе устойчивый рост температуры воздуха в период 2017–2020 гг. сменяется тенденцией ее понижения. В марте наблюдаются колебания температуры, близкие к многолетней норме 1991–2020 гг.

Анализ аномалий температуры воздуха показал, что чем выше по абсолютной величине аномалии, формирующиеся в районе пролива Вилькицкого в октябре, тем больше вероятность сохранения знака «октябрьских» аномалий в течение остальных месяцев холодного периода. Выявленные корреляционные связи (в частности, наибольшая корреляция в октябре и тенденция к сохранению знака аномалии в последующие месяцы) являются предварительными наблюдениями, требующими дальнейшей проверки на более широком массиве данных.

В ходе исследования были выделены пять типов температурного режима воздуха в холодный период года в районе пролива Вилькицкого. Анализ условий формирования каждого из режимов позволил выявить характерные особенности атмосферной циркуляции, в частности — распределения барических полей как на уровне моря, так и на высоте стандартной изобарической поверхности 500 гПа, соответствующие каждому из типов.

Первый тип атмосферной циркуляции согласуется с результатами, полученными в работе [13], в которой исследуется атмосферная циркуляция при повышенной и пониженной сплоченности морского льда в проливах Северного морского пути. В исследовании [13] показано, что при повышенной сплоченности льда формируется очаг отрицательной аномалии приземной температуры воздуха в районе юго-запада Карского моря в период с октября по ноябрь, в нашей работе при режиме температуры воздуха 1 типа также сформирован основной очаг отрицательных аномалий в юго-западной части Карского моря и также к юго-востоку от арх. Земля Франса-Иосифа.

Атмосферная циркуляция во втором типе процессов согласуется с результатами, полученными в исследовании [19], в которой положительные аномалии температуры воздуха в районе пр. Вилькицкого и Карского моря формируются при преобладании циклонической деятельности в Западной Арктике, с траекторией циклонов направленной по оси ложбины, направленной на среднюю часть арх. Новая Земля.

Полученные выводы могут использоваться при разработке усовершенствованной методики прогнозирования погоды в районе пролива Вилькицкого, а также центральной части Северного морского пути в холодный период года.

### Список литературы:

1. Моря Российской Арктики в современных климатических условиях / под общ. редакцией И.М. Ашика. СПб: ААНИИ, 2021. 360 с.
2. Фильчук К.В., Коробов В.Б., Юлин А.В., Шевелева Т.В. Влияние наблюдаемых



- изменений климатических условий на хозяйственную деятельность в морях Российской Арктики // *Российская Арктика*. 2022. № 2 (17). С. 21-33. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2022-2-21-33>
3. Latonin M.M., Bashmachnikov I.L., Bobylev L.P. The Arctic Amplification Phenomenon and Its Driving Mechanisms // *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2020. Vol. 13. № 3. P. 3–19. <http://dx.doi.org/10.7868/S2073667320030016>
  4. Третьяков В.Ю., Сарафанов М.И., Фролов С.В. Межгодовая изменчивость ледовых условий плавания в морях Российской Арктики // *Арктика: общество, наука и право: сб. статей под ред. Н. К. Харламповой*. 2020. С. 334-339.
  5. Юлин А.В., Вязигина Н.А., Егорова Е.С. Межгодовая и сезонная изменчивость площади льдов в Северном Ледовитом океане по данным спутниковых наблюдений // *Российская Арктика*. 2019. №7. С. 28–40. <http://dx.doi.org/10.24411/2658-4255-2019-10073>
  6. Meier W.N., Stroeve J. An updated assessment of the changing Arctic sea ice cover. *Oceanography* // 2022. Vol. 35 (2). <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2022.114>
  7. Егоров А.Г. Летняя кромка льдов и осенние сроки устойчивого ледообразования в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском в период 1981-2018 гг. // *Лёд и снег*. 2021. Т. 61. № 1. С. 117–27. <https://doi.org/10.31857/S2076673421010075>
  8. Егоров А.Г. Пространственное положение кромки льдов в августе – сентябре в восточных морях России в начале XXI в. // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2020. Т. 66. № 1. С. 38–55. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-38-55>
  9. Холопцев А. В., Подпорин С. А. Современные изменения ледовитости проливов на трассе Северного Морского пути и атмосферная циркуляция // *Сложные системы*. 2016. № 3 (20). С. 40–54.
  10. Shukurov K.A., Shukurova L.M. Statistical characteristics of variations in sea ice concentration in straits of the northern sea route in the recent decades // *28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*. 2022. Vol. 12341. P. 977–981. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2645087>
  11. Chen X., Zhao J., Zhao Y., et al. Risk assessment of ice-class-based navigation in Arctic: a case study in the Vilkitsky Strait // *Journal of Physics: Conference Series*. 2024. Vol. 2718 (1). P. 012040. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2718/1/012040>
  12. Думанская И.О., Федоренко А.В. Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами // *Метеорология и гидрология*. 2008. № 12. С. 82–94.
  13. Shukurov K. A., Semenov V. A. Large-scale atmospheric circulation patterns favoring sea ice concentration extremes in the Northern Sea Route straits in June-November of 1979-2017 // *27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics*. SPIE. 2021. Vol. 11916. P. 1030–1035. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2601742>
  14. Болотинская М. Ш., Худякова И. Н. Результаты испытаний прогностических связей для уточнения фонового метеорологического прогноза // *Труды ААНИИ*. 1990. № 422. С. 88–92.
  15. Иванов В.В., Алексеенков Г.А., Коржиков А.Я. О совершенствовании макроциркуляционного метода долгосрочного метеорологического прогноза в Карском море // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2018. № 4 (370). С. 105–121.
  16. Ильющенко И.А., Коржиков А.Я., Иванов Б.В. Некоторые механизмы формирования аномальной температуры воздуха в летние сезоны на арх. Шпицберген // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2024. Т. 70. № 2. С. 161–173. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-161-173>
  17. Дыдина Л.А. Макроциркуляционный метод прогнозов погоды на 3-10 суток для Арктики. Ленинград: Гидрометеиздат, 1964. 391 с.
  18. Угрюмов А.С., Лаврова И.В. Основные закономерности общей циркуляции атмосферы: учебное пособие. Санкт-Петербург: РГГМУ, 2021. 72 с.
  19. Ильющенко И.А., Коржиков А.Я., Александров В.Я. Характеристики полей приземного давления и аномалий температуры воздуха в Арктике в период глобального потепления // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2015. № 40. С. 142–149.

## References:

1. *Morya Rossijskoj Arktiki v sovremennyh klimaticheskikh usloviyah* [Russian Arctic Seas in the modern climatic conditions] Ashik IM. (ed.) Saint Petersburg: AANII; 2021. 360 p. (In Russ.).

2. Filchuk KV, Korobov VB, Yulin AV, Sheveleva TV. The impact of observed changes in climatic conditions on economic activity in the seas of the Russian Arctic. *Russian Arctic*. 2022;2(17):21–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2022-2-21-33>
3. Latonin MM, Bashmachnikov IL, Bobylev LP. The Arctic Amplification Phenomenon and Its Driving Mechanisms. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2020;13(3):3–19. <http://dx.doi.org/10.7868/S2073667320030016>
4. Tret'jakov VJu, Sarafanov MI, Frolov S. Interannual variability of ice navigation conditions in the seas of the Russian Arctic. *Arktika: obshhestvo, nauka i pravo: sb. statej pod red. N.K. Harlamp'evoj = The Arctic: society, Science and Law: collection of articles edited by Kharlampyeva NK*. 2020;334–339. (In Russ.).
5. Yulin AV, Vyazigina NA, Egorova ES. Interannual and seasonal variability of the ice area in the Arctic Ocean according to satellite observations. *Russian Arctic*. 2019;7:28–40. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.24411/2658-4255-2019-10073>
6. Meier WN, Stroeve J. An updated assessment of the changing Arctic sea ice cover. *Oceanography*. 2022;35(2). <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2022.114>
7. Egorov AG. Positions of the summer ice edge and autumn dates of stable ice formation in the Laptev, East-Siberian and Chukchi seas in 1981–2018. *Ice and Snow*. 2021;61(1):117–127. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2076673421010075>
8. Egorov AG. Spatial location of ice edge in August – September in the Russia's eastern seas in early 21st century. *Arctic and Antarctic Research*. 2020;66(1):38–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-38-55>
9. Holopcev AV, Podporin SA. Contemporary changes of the ice cover in the Northern Sea Route and atmospheric circulation. *Complex systems*. 2016;3:40–54. (In Russ.).
10. Shukurov KA, Shukurova LM. Statistical characteristics of variations in sea ice concentration in straits of the northern sea route in the recent decades. 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2022;12341:977–981. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2645087>
11. Chen X, Zhao J, Zhao Y, et al. Risk assessment of ice-class-based navigation in Arctic: a case study in the Vilkitsky Strait. *Journal of Physics: Conference Series*. 2024;2718(1):012040. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2718/1/012040>
12. Dumanskaja IO, Fedorenko AV. Analysis of the relationship between the ice characteristics of the seas of the European part of Russia and macrocirculatory atmospheric processes. *Meteorology and hydrology*. 2008;12:82–94. (In Russ.).
13. Shukurov KA, Semenov VA. Large-scale atmospheric circulation patterns favoring sea ice concentration extremes in the Northern Sea Route straits in June–November of 1979–2017. 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2021;11916:1030–1035. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2601742>
14. Bolotinskaja MSh, Hudjakova I N. Test results of predictive relationships to refine the background meteorological forecast. *Trudy AANII = Works of AARI*. 1990;422:88–92. (In Russ.).
15. Ivanov VV, Alekseenkov GA, Korzhikov AJa. On improvement of the microcirculation method for long-range weather forecasting in the Kara Sea Hydrometeorological research and Forecasts. *Hydrometeorological research and forecasts*. 2018;4(370):105–121. (In Russ.).
16. Ilyushhenkova IA, Korzhikov AJa, Ivanov BV. Some mechanisms of formation summer abnormal surface air temperature in the area of the Svalbard archipelago. *Arctic and Antarctic Research*. 2024;70(2):161–173. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-161-173>
17. Dydina LA. Makrocirkuljacionnyj metod prognozov pogody na 3-10 sutok dlja Arktiki [Macrocirculatory method of weather forecasts for 3-10 days for the Arctic]. Leningrad: Hydrometeoizdat; 1964. 391 p. (In Russ.).
18. Ugrjumov AS, Lavrova IV. Osnovnye zakonomernosti obshhej cirkuljicii atmosfery: uchebnoe posobie [Basic patterns of the general circulation of the atmosphere: a textbook]. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University; 2021. 72 p. (In Russ.).
19. Ilyushhenkova IA, Korzhikov AJa, Aleksandrov VJa. Features fields of surface pressure and air temperature anomalies in the Arctic in the period of global warming. *Proceedings of the Russian state Hydrometeorological University*. 2015;40:142–149. (In Russ.).