

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2026-2-38-50>

УДК 551.589.1

## **Особенности атмосферной циркуляции, связанные с летними волнами тепла над архипелагом Шпицберген**

***И.А. Ильющенко***

*Арктический и антарктический научно-исследовательский  
институт», г. Санкт-Петербург, Россия  
ilyushenkova@aari.ru*

Проанализированы данные о ежедневной максимальной температуре воздуха в летние месяцы 1932–2025 гг. в Баренцбурге, архипелаг Шпицберген. Выделено 20 периодов экстремального повышения температуры воздуха (волны тепла). Отмечено, что после 1990-х гг. наблюдается увеличение продолжительности и интенсивности событий. Самая интенсивная и продолжительная волна тепла наблюдалась с 31 июля по 27 августа 2024 года.

Исследована связь повышения температуры с атмосферной циркуляцией на приземном уровне и в средней тропосфере, проанализировано наличие блокирующих процессов на основе осредненной аномалии потенциального вихря. Установлено, во всех случаях повышения температуры воздуха над Баренцевым и Карским морями формировалась обширная антициклоническая область, нарушающая зональную циркуляцию атмосферы.

*Ключевые слова:* архипелаг Шпицберген, атмосфера, западная Арктика, изменение климата в Арктике, метеорологические характеристики, потепление климата, синоптические условия

## **Atmospheric circulation during summer heatwaves on the Svalbard archipelago**

***I.A. Ilyushchenkova***

*Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia  
ilyushenkova@aari.ru*

Data on daily maximum air temperatures for the period from 1932 to 2025 in Barentsburg (Svalbard archipelago) are analyzed. Twenty episodes of extreme air temperature rises (heatwaves) were identified. It was found that there has been an increase in the duration and intensity of heatwaves after the 1990s. The most intense and longest heatwave was observed from July 31 to August 27, 2024.

The connection between the temperature rise and atmospheric circulation patterns near the surface and in the mid-troposphere, as well as the presence of atmospheric blocking based on an averaged anomaly of potential vorticity were investigated. The analysis showed that in all cases of the temperature rise over the Barents and Kara seas, a large anticyclonic area disrupting the western atmospheric circulation was formed.

*Keywords:* Svalbard archipelago, atmosphere, Western Arctic, climate change in the Arctic, meteorological characteristics, climate warming, synoptic conditions

## Введение

Атмосферная циркуляция в районе архипелага Шпицберген является одной из наиболее динамичных в Арктике и в то же время одной из самых чувствительных к современным климатическим изменениям. Это обусловлено особенностями географического положения региона: с севера поступает приполярный холодный воздух, а с юга – более тёплые воздушные массы из Северной Атлантики и умеренных широт [8]. Окрестности архипелага Шпицберген представляют собой ключевую область поступления тепла в арктический бассейн [12].

Несмотря на то, что официально архипелаг находится под юрисдикцией Норвегии, право доступа на его территорию имеют 38 государств, включая Россию [1]. Благодаря этому Шпицберген является не только стратегически важной территорией, но и значимым научным полигоном для изучения климатических процессов в высоких широтах. На архипелаге ведется одна из самых продолжительных серий инструментальных метеорологических наблюдений в Арктике. Регулярные измерения проводятся в российском посёлке Баренцбург с сентября 1932 года (с перерывом в период Второй мировой войны: август 1941 – ноябрь 1947 г.) [5].

Согласно Третьему оценочному докладу об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [7], повышение приземной температуры воздуха в северной полярной области происходит значительно более быстрыми темпами, чем в среднем по планете. Ускоряющееся потепление приводит к усложнению межширотного теплообмена и способствует возникновению аномальных атмосферных явлений, включая волны тепла. В условиях меняющегося климата исследование возможностей долгосрочного прогнозирования экстремальных погодных событий становится особенно актуальным. Согласно работе [6], предел предсказуемости волн тепла в Арктике сокращается до 7 дней, тогда как в Европе он достигает двух недель. Это свидетельствует о высокой изменчивости атмосферных процессов в арктических широтах и необходимости более глубокого изучения факторов, определяющих формирование тепловых волн. Особую роль в развитии устойчивых волн тепла играют атмосферные блокирующие процессы, крупномасштабные антициклональные структуры, препятствующие перемещению воздушных масс [11, 14, 20]. Их частота и интенсивность активно исследуются в последние годы, в том числе в связи с сокращением площади арктического морского льда [16]. Однако проведение анализа блокирующих процессов остаётся сложной задачей, поскольку до сих пор не существует универсального подхода, который позволял бы комплексно учитывать все их характеристики.

Целью настоящей работы является выявление и анализ основных особенностей атмосферной циркуляции, приводящих к появлению тепловых волн на архипелаге Шпицберген. Актуальность данного исследования определяется необходимостью более глубокого понимания закономерностей атмосферной циркуляции, способствующих развитию тепловых волн в Арктике в условиях современного изменения климата.

### Данные и методы исследования

Для анализа волн тепла и атмосферной циркуляции на уровне моря (приземный слой) в средней и верхней тропосфере использованы данные инструментальных метеорологических наблюдений и материалы реанализа. Данные наблюдений за максимальной суточной температурой воздуха на высоте 2 м в период 1932–2025 гг., полученные в гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург», предоставлены из архива Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных ([www.meteo.ru](http://www.meteo.ru)). Характеристики атмосферной циркуляции проанализированы по данным реанализа ERA5 [13] с использованием следующих параметров: атмосферного давления на уровне моря, высот изобарической поверхности 500 гПа и значений потенциального вихря в верхней тропосфере в слое от 500 до 150 гПа.

Оценка характеристик температурного режима и выявление волн тепла проводилась по методике, представленной в работе [17]. Периоды тепла определяются как три и более дней с максимальной температурой воздуха, превышающей 90-й перцентиль. Значение 90-го перцентиля  $A$  рассчитывалось за 30-летний климатический период 1991–2020 гг. с использованием скользящего окна для каждого дня: 15 дней до и 15 дней после рассматриваемого дня  $d$  (всего 31 день):

$$A_d = \bigcup_{y=1991}^{2020} \bigcup_{i=d-15}^{d+15} T_{i,y}, \quad (1)$$

где  $\bigcup$  – объединение множеств;  $T_{i,y}$  – максимальная дневная температура воздуха дня  $i$  в году  $y$ .

Для количественного анализа интенсивности волн тепла рассчитывалась суммарная магнитуа волны тепла, представляющая собой сумму магнитуд всех последовательных дней  $M_d$ . Ежедневная магнитуа вычислялась следующим образом:

$$M_d(T_d) = \begin{cases} \frac{T_d - T_{25p}}{T_{75p} - T_{25p}}, & \text{если } T_d > T_{25p}, \\ 0, & \text{если } T_d \leq T_{25p} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $T_d$  – максимальная суточная температура воздуха в день  $d$  во время волны тепла;  $T_{25p}$  и  $T_{75p}$  – соответственно, 25 и 75-й перцентили выборки, состоящей из 30 годовых максимумов температур за климатический период с 1991 по 2020 год.

Знаменатель функции  $M_d$ , т. е. разность между  $T_{25p}$  и  $T_{75p}$ , представляет собой межквартильный размах 30-летнего ряда годовых максимумов температур воздуха за период 1991–2020 гг. Если в день волны тепла температура  $T_d$  равна  $T_{75p}$ , магнитуа принимает значение 1, аномалия температуры

равна межквартильному размаху годовых максимумов, который является единицей измерения величины волны тепла и отражает её интенсивность. Если величина магнитуды принимает значение 5, аномалия температуры равна пятикратному межквартильному размаху. Суммарная магнитуда всей волны тепла рассчитывается как сумма ежедневных магнитуд за все дни события, что позволяет комплексно учитывать как интенсивность, так и продолжительность аномалии.

Интерпретация интенсивности по суммарной магнитуде:  $M_d = 0-3$  – слабая волна тепла, незначительное превышение нормы;  $M_d = 3-5$  – умеренная волна тепла;  $M_d = 5-10$  – сильная волна тепла, значительно выше нормы;  $M_d = 11-20$  и более – очень сильная волна тепла, редкое и экстремальное событие.

Для выявления блокирующих образований использован метод, предложенный и усовершенствованный в [18]. Идентификация блокирующих антициклонов проводится с помощью осредненного потенциального вихря Эртеля ( $PV$ ), поскольку блокирующий антициклон имеет баротропную структуру, изменения по высоте метеовеличин несущественны, а значительная отрицательная аномалия  $PV$  в верхней тропосфере является признаком блокирующего процесса. Таким образом, блокирующий процесс определяется как отрицательная аномалия потенциального вихря  $PV$  в верхней тропосфере, отвечающая заданным пороговым значениям продолжительности, пространственного масштаба и амплитуды. Потенциальный вихрь Эртеля представляет собой произведение абсолютного вихря на изэнтропической поверхности на выражение, определяющее устойчивость атмосферы [10]:

$$PV = (f + \mathcal{E}_\theta) \cdot \left( -g \frac{d\theta}{dp} \right), \quad (3)$$

где  $f$  – параметр Кориолиса;  $\mathcal{E}$  – относительный вихрь скорости;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\theta$  – потенциальная температура;  $p$  – давление.

Для расчета аномалий  $PV$  использован климатический период 1991–2020 гг. для соответствующего месяца. Значения вычислялись на изобарических уровнях 500, 400, 300, 200 и 150 гПа и затем вертикально осреднялись, что позволяет анализировать трехмерную структуру и выявлять центры блокирующих систем. Для исследуемых периодов волн тепла значения рассчитывались по данным за сроки 00, 06, 12, 18 UTC. Аномалия вертикально осреднённого потенциального вихря  $APV$  вычислялась по формуле:

$$APV(x, y, t) = \frac{1}{N} \sum_{h=150 \text{ hPa}}^{500 \text{ hPa}} PV(x, y, h, t), \quad (4)$$

где  $N$  – количество высотных уровней;  $h$  – уровень изобарической поверхности;  $x$  и  $y$  – координаты точки;  $t$  – момент времени.

Величина аномалии оценивается в единицах измерения потенциального вихря PVU (Potential Vorticity Unit),  $1 \text{ PVU} = 10^{-6} \text{ К} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Полученное поле аномалий  $APV$  анализировалось с использованием порогов [15], аномалия менее  $-1,2$  PVU, площадь замкнутого контура отрицательных аномалий более  $1,8$  млн км<sup>2</sup>, продолжительность более 5 дней.

### Результаты исследований и обсуждение

В работе проанализирован временной ряд суточной максимальной температуры воздуха, полученный на гидрометеорологической обсерватории «Баренцбург» с 1932 по 2025 год. Температура воздуха в районе посёлка Баренцбург тесно коррелирует с температурным режимом других станций Западного Шпицбергена, что неоднократно отмечалось в предыдущих исследованиях. Корреляция приземной температуры воздуха в Баренцбурге с данными наблюдений на станциях Лонгйир, Хорнсунд, Исфьорд Радио, Пирамида и Нью-Алесун, расположенных на западном побережье архипелага, оценивалась по парным коэффициентам корреляции Пирсона. Теснота связи составила  $0,92$ – $0,99$  в летний период с июня по сентябрь [3], и  $0,98$ – $0,99$  в зимний период [4], что свидетельствует о высокой степени синхронности температурных изменений в пределах региона.

Максимальная температура воздуха за весь период наблюдений зафиксирована 17 июля 1999 г. и составила  $+20,3$  °C. Второе и третье по величине значения наблюдались 27 и 28 июля 2020 г.  $+19,5$  °C и  $+19,2$  °C соответственно. Предыдущий рекорд  $+19,1$  °C принадлежал 27 июля 1966 г. Средняя климатическая норма за рекомендованный Всемирной метеорологической организацией период 1991–2020 гг. для июля в районе Баренцбурга составляет  $+6,5$  °C, в августе  $+5,5$  °C.

На основе выборки годовых максимумов температуры воздуха за летний сезон (июнь–август), включающей 30 значений в климатический период 1991–2020 гг., рассчитаны значения 25 и 75-го перцентилей. Дополнительно для каждого календарного дня сезона определены значения 90-го перцентилея в период 1991–2020 гг. Расчёт выполнялся с использованием скользящего окна: 15 дней до и 15 дней после рассматриваемой даты. Таким образом, объём выборки при вычислении 90-го перцентилея для каждого календарного дня составил 930 значений. Значение на 25 перцентиле составило  $12,7$  °C, значение на 75 перцентиле –  $15,7$  °C, что даёт межквартильный размах 3 °C. На многолетнем ряду с 1932 по 2025 г. выявлены 48 периодов, когда максимальная температура воздуха превышала 90-й перцентиль на протяжении трёх и более последовательных суток. По климатическим периодам количество эпизодов распределяется следующим образом: в период с 1932 по 1960 года отмечено 7 эпизодов волн тепла, с 1961 по 1990 г. – 11 эпизодов, с 1991 по 2025 г. – 30 эпизодов.

Для каждого из 48 периодов рассчитана суммарная магнитуда превышения температуры воздуха относительно порогового значения 90-го перцентилея по методике, описанной в разделе «Данные и методы исследования». 20 периодов, в которых суммарная магнитуда была равной или более 1,5 единицы, классифицированы в градациях от слабых до экстремальных

волн тепла. Эпизоды с магнитудой менее 1,5 единицы отнесены к категории «очень слабая волна тепла» и в дальнейшем анализе не учитывались. Даты начала и окончания волн тепла, максимальная температура воздуха за период, суммарная магнитуда волн тепла представлены в таблице. По климатическим периодам количество волн тепла с суммарной магнитудой от 1,5 единицы и более имеет следующее распределение: в период с 1932 по 1960 г. отмечена 1 волна тепла, в период с 1961 по 1990 г. – 4, с 1991 по 2025 г. – 15 волн тепла.

**Таблица.** Характеристики волн тепла на архипелаге Шпицберген за период с 1932 по 2025 г.

**Table.** Characteristics of heatwaves in the Svalbard Archipelago for the period from 1932 to 2025

Начало периода	Конец периода	Макс. температура, °С	Суммарная магнитуда	Миним. аномалия PV	Синоптический процесс, № (Б – блокирующий)
31.07.2024	27.08.2024	+17,4	10,6	-3,2	2
24.07.2020	30.07.2020	+19,5	8,4	-2,6	2
16.07.1999	21.07.1999	+20,3	5,9	-2,8	4
30.07.2015	03.08.2015	+17,9	5,3	-2,3	1
27.07.1966	31.07.1966	+19,1	5,2	-2,8	<b>2 (Б)</b>
14.07.1993	19.07.1993	+17,2	4,6	-2,4	3
13.07.1998	17.07.1998	+15,8	3,7	-2,7	1
03.07.2023	08.07.2023	+16,2	3,6	-1,6	1
16.08.2011	20.08.2011	+17,5	3,1	-3,0	3
17.07.1953	22.07.1953	+16,1	3,1	-2,1	2
04.08.2020	09.08.2020	+14,9	2,8	-2,7	<b>3 (Б)</b>
22.07.1998	25.07.1998	+17,7	2,8	-2,6	<b>2 (Б)</b>
10.07.1979	12.07.1979	+16,2	2,4	-2,5	2
25.07.1985	27.07.1985	+16,5	2,3	-2,4	2
11.08.1993	14.08.1993	+16,5	2,1	-2,8	1
14.07.2022	16.07.2022	+17,3	2,0	-2,0	2
08.08.2001	10.08.2001	+14,8	1,7	-2,0	2
01.07.1978	04.07.1978	+14,9	1,7	-2,5	<b>1 (Б)</b>
15.07.2004	17.07.2004	+14,9	1,5	-2,7	2
11.07.2009	13.07.2009	+15,0	1,5	-3,7	1

Анализ суммарных магнитуд показал, что наиболее экстремальный период потепления наблюдался 31 июля – 27 августа 2024 г., когда суммарная магнитуда достигла 10,6 единицы. К сильным волнам тепла с магнитудой от 5 до 10 отнесено 4 эпизода: в период с 24 по 30 июля 2020 г. суммарная магнитуда составила 8,4, с 16 по 21 июля 1999 г. – 5,9, с 30 июля

по 3 августа 2015 г. – 5,3, с 27 по 31 июля 1966 г. – 5,2. 5 эпизодов повышения температуры воздуха классифицированы как умеренная волна тепла со значением магнитуды от 3,1 до 4,6, остальные события относятся к слабым.

После интенсивного события 1966 г. волна тепла 1999 г. стала заметным признаком изменения термического режима (роста экстремальных температур). В дальнейшем наиболее интенсивные волны тепла фиксируются преимущественно в последние десятилетия: в 2015, 2020 и 2024 годах.

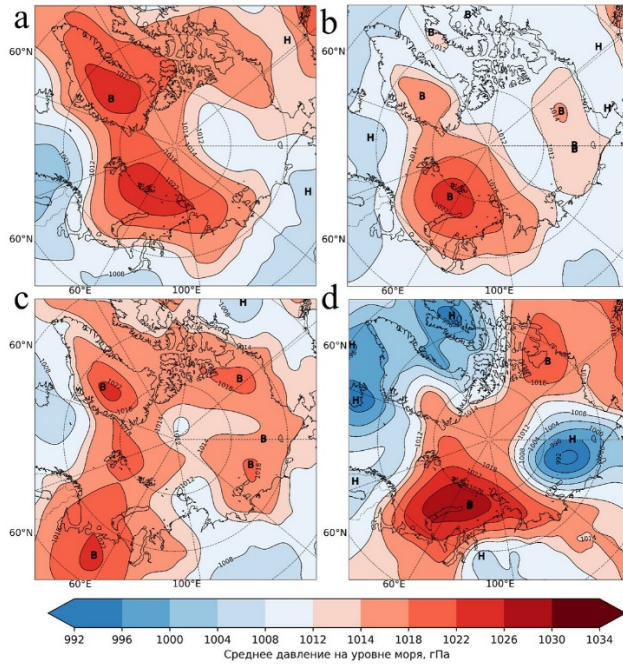
Анализ продолжительности показал, что наиболее длительные волны тепла наблюдались в 2024 г. (28 дней), 2020 г. (7 дней), а также в 2023, 1999 и 1993 гг. – по 6 дней. До 1990 года преобладали более кратковременные события продолжительностью 3–5 дней.

Расчет магнитуды тепловой волны по методике [17] позволяет адаптировать индекс под различные районы и сравнивать значения. Для сравнения, жара в России в 2010 г., обусловленная интенсивным и длительно существовавшим блокирующим антициклоном [9], достигала экстраординарных значений суммарной магнитуды 71,9 [17], а периоды жары на юго-западе России в 1954 г. – 19,7.

Анализ барических полей на уровне изобарической поверхности 500 гПа и на уровне моря показал, что формирование наиболее интенсивных волн тепла сопровождается развитием обширных антициклональных областей и переходом атмосферной циркуляции от зонального к меридиональному типу. Различия отмечались в расположении антициклональной области. Выделено четыре типичных положения антициклональной области. При первом типе антициклональная область расположена над Карским морем, отмечается также область повышенного давления над Гренландией, морем Баффина и Канадским архипелагом (рис. 1а). При втором типе антициклональная область расположена над Карским морем, но, в отличие от первого типа, район Гренландии, моря Баффина и Канадского архипелага находится под влиянием барической депрессии (рис. 1б). При третьем типе антициклон находится над Баренцевым морем и архипелагом Шпицберген (рис. 1с). При четвертом типе область высокого давления смещается к приполюсному району Арктики (рис. 1д).

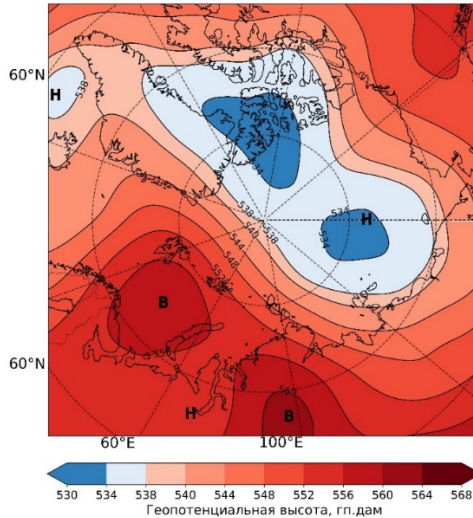
На высоте 500 гПа при всех указанных типах наблюдается развитие высотного барического гребня в Западной Арктике и над Европейской территорией России, тогда как восточная часть Арктики находится под влиянием депрессии (рис. 2). Подобная конфигурация является характерным проявлением меридиональной циркуляции [2], способствующей притоку теплых воздушных масс в район Шпицбергена.

В [20] отмечают, что периоды жары в Северном полушарии происходят при формировании обширного гребня высокого давления и меридионального типа атмосферной циркуляции, часто этот гребень идентифицируют как блокирующий антициклон, к северу от барического гребня происходит смещение струйного течения в сторону полюса.



**Рис. 1.** Поля среднего давления на уровне моря для циркуляций: тип 1 (a); тип 2 (b); тип 3 (c); тип 4 (d) гПа.

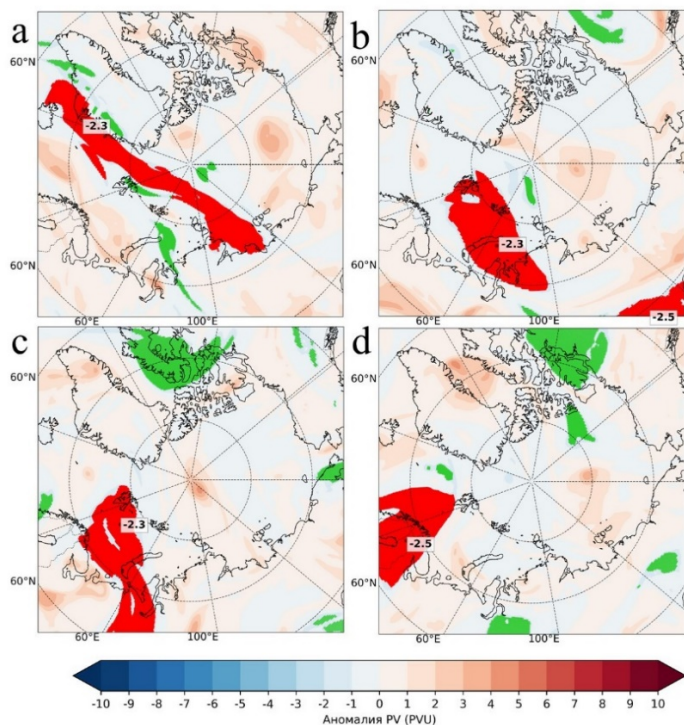
**Fig. 1.** Fields of mean sea level pressure for circulation type 1 (a); type 2 (b); type 3 (c); type 4 (d) hPa.



**Рис. 2.** Поле средней для всех периодов волн тепла геопотенциальной высоты на изобарической поверхности 500 гПа, гп. Дам.

**Fig. 2.** Field of the average geopotential height for all periods of heat wave at the 500 hPa level, gpdam.

Дополнительный анализ проведён для оценки наличия блокирующих атмосферных процессов, препятствующих перемещению циклонов и способствующих установлению устойчивой погоды. Из 20 изученных эпизодов тепловых волн в четырёх случаях, а именно 27–31.07.1966, 01–04.07.1978, 22–25.07.1998 и 04–09.08.2020, наблюдалось формирование зон отрицательных аномалий потенциального вихря в слое 500–150 гПа со значениями менее  $-1,2$  PVU и площадью распространения более 1,8 млн км<sup>2</sup> (рис. 3). Эти области сохранялись на протяжении всего периода повышенных температур и указывали на наличие устойчивой блокирующей атмосферной циркуляции.



**Рис. 3.** Поля аномалий осреднённого потенциального вихря 27–31.07.1966 (a); 01–04.07.1978 (b); 22–25.07.1998 (c); 04–09.08.2020 (d) PVU. Зелеными зонами выделены области с аномалией менее  $-1,2$  PVU; красным – зоны с аномалией менее  $-1,2$  PVU и площадью распространения более 1,8 млн км<sup>2</sup>.

**Fig. 3.** Fields of averaged potential vorticity anomalies 27–31.07.1966 (a); 01–04.07.1978 (b); 22–25.07.1998 (c); 04–09.08.2020 (d), PVU. Areas with anomalies less than  $-1.2$  PVU are shown in green; areas with anomalies less than  $-1.2$  PVU and a spatial extent exceeding 1.8 million km<sup>2</sup> are shown in red.

Методы выявления блокирующих антициклонов являются предметом многочисленных исследований [21], предложены различные индексы, которые имеют свои преимущества и недостатки. Однако универсальный метод, способный учитывать все характеристики атмосферных блокирующих процессов, так и не сформулирован. Сложность выделения блокирующих

процессов и разнообразие методов осложняет сравнение полученных результатов. Также следует отметить, что анализ аномалий потенциального вихря в верхней тропосфере выполнялся по данным реанализа, который объединяет фактические наблюдения, спутниковые наблюдения и модельные расчеты. Небольшая плотность сети фактических данных в полярных широтах может ограничивать точность реанализа [15]. Синоптический анализ выявил, что формирование волн тепла связано с развитием антициклональных областей над Баренцевым и Карским морями. Эти области сопровождаются появлением отрицательных аномалий потенциального вихря в слое тропосферы 500–150 гПа.

В целом, результаты исследования подтверждают, что усиление меридиональности атмосферной циркуляции способствует увеличению частоты и интенсивности тепловых волн на архипелаге Шпицберген. Резкие переходы от зональной циркуляции к меридиональной значительно ухудшают качество прогнозов погоды, особенно долгосрочных. Пространственно-временная структура аномалий потенциального вихря может служить диагностическим индикатором возникновения и устойчивости блокирующих систем.

### Выводы

В работе проанализированы данные о ежедневной максимальной температуре воздуха в летние месяцы с 1932 по 2025 год в Баренцбурге, архипелаг Шпицберген. Выделены периоды повышения температуры воздуха, когда температура превышала 90-й перцентиль, рассчитаны суммарные магнитуды волн тепла. Оценена атмосферная циркуляция на приземном уровне и в средней тропосфере, проанализировано наличие блокирующих процессов на основе осредненной аномалии потенциального вихря. По результатам исследования сделаны следующие выводы.

1. За период с 1932 по 2025 год в районе архипелага Шпицберген выделено 20 периодов экстремального повышения температуры воздуха (волны тепла). Из них 15 эпизодов приходится на период 1991–2025 гг., а 5 на более ранние годы.

2. В первой половине исследуемого периода, примерно до 1990-х гг., волны тепла на архипелаге Шпицберген характеризовались кратковременностью (3–5 дней) и умеренной суммарной магнитудой. После 1990-х гг. отмечается увеличение продолжительности и интенсивности событий. В 2020-х гг. зафиксированы наиболее продолжительные и интенсивные волны тепла.

3. Самая интенсивная и продолжительная волна тепла наблюдалась с 31 июля по 27 августа 2024 г., суммарная магнитуда достигла 10,6 единицы, что соответствует категории экстремальных и редких явлений. Подобный случай отмечен впервые за весь исследуемый период с 1932 года.

4. Летние волны тепла в районе архипелага Шпицберген формируются при наличии обширной антициклональной области с локализацией преимущественно над Баренцевым и Карским морями. Типовая циркуляция

атмосферы в средней тропосфере при экстремальных потеплениях характеризуется формированием высотного барического гребня над Западной Арктикой и Европейской территорией России, что соответствует меридиональному типу циркуляции атмосферы.

5. В ряде случаев (1966, 1978, 1998, 2020 гг.) выявлены признаки блокирующих процессов в атмосфере, подтверждаемые формированием отрицательных аномалий потенциального вихря в слое от 500 до 150 гПа над Западной Арктикой, нарушающих западный перенос воздушных масс и способствующих накоплению тепла в районе архипелага Шпицберген.

### Список литературы

1. Балабейкина О.А., Завгородняя А.А., Янковская А.А. Шпицберген в геополитическом и геоэкономическом пространстве // Экономика и природопользование на Севере. 2025. № 3. С. 5-14. DOI: 10.25587/2587-8778-2025-3-5-14
2. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 488 с.
3. Ильющенко И.А., Коржииков 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. DOI: 10.30758/0555-2648-2024-70-2-161-173
4. Ильющенко И.А., Коржииков А.Я., Иванов Б.В. Некоторые закономерности формирования экстремальных приземных температур воздуха в районе архипелага Шпицберген в холодный период года // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69, № 2. С. 141-156. DOI: 10.30758/0555-2648-2023-69-2-141-156
5. Карандашева Т.К., Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Изменения температуры воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) в XX-XXI вв. Обоснование введения новой климатической нормы // Российская Арктика. 2021. № 2(13). С. 26-39. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-2-26-39
6. Куликова И.А., Круглова Е.Н., Сумерова К.А., Хан В.М. Волны тепла и блокирующие антициклоны летом 2021 года в прогнозах и наблюдениях // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022. №1 (383). С. 7-21. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-1-7-21
7. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научно-технологии, 2022. 124 с.
8. Угрюмов А.С., Лаврова И.В. Основные закономерности общей циркуляции атмосферы: Учебное пособие. СПб.: РГГМУ, 2021. 72 с.
9. Шакина Н.П., Иванова А.Р., Бирман Б.А., Скриптунова Е.Н. Блокирование: условия лета 2010 г. в контексте современных знаний // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 года: Сборник докладов. М.: Триада ЛТД, 2011. С. 6-21.
10. Юсупов Ю.И. Метод прогноза шквалов с использованием термодинамических параметров атмосферы и потенциального вихря Эртеля // Метеорология и гидрология. 2013. № 11. С. 55-63.
11. Borovko I.V., Gradov V.S., Platov G.A., Krupchatnikov V.N. Numerical Study of the Arctic Oscillation Impact on the Atmospheric Blocking Characteristics // Russian Meteorology and Hydrology. 2024. Vol. 48, no. 11. P. 946-953. DOI: 10.3103/S1068373923110031
12. Hattermann T., Isachsen P.E., von Appen W.-J., Albreitsen J., Sundffjord A. Eddy-driven recirculation of Atlantic Water in Fram Strait // Geophysical Research Letters. 2016. Vol. 43. P. 3406-3414. DOI: 10.1002/2016GL068323
13. Hersbach H., Dee D. ERA5 reanalysis is in production // ECMWF Newsletter. 2016. Vol. 147. P. 7.
14. Kautz L.-A., Martius O., Pfahl S., Pinto J.G., Ramos A.M., Sousa, P.M., Woollings T. Atmospheric blocking and weather extremes over the Euro-Atlantic sector – a review // Weather Clim. Dynam., 2022, vol. 3, pp. 305-336. DOI: 10.5194/wcd-3-305-2022

15. Naakka T., Nygård T., Tjernström M., Vihma T., Pirazzini R., Brooks I.M. The impact of radiosounding observations on numerical weather prediction analyses in the Arctic // *Geophysical Research Letters*. 2019. Vol. 46, no. 14. P. 8527-8535. DOI: 10.1029/2019GL083332

16. Platon G., Krupchatnikov V., Gradov V., Borovko I., Volodin E. Analysis of the Northern Hemisphere Atmospheric Circulation Response to Arctic Ice Reduction Based on Simulation Results // *Geosciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11, no. 9. P. 373. DOI: 10.3390/geosciences11090373

17. Russo S., Sillmann J., Fischer E.M. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades // *Environmental Research Letters*. 2015. Vol. 10, no. 12. P. 124003. DOI: 10.1088/1748-9326/10/12/124003

18. Schwierz C., Croci-Maspoli M., Davies H.C. Perspicacious indicators of atmospheric blocking // *Geophysical Research Letters*. 2004. Vol. 31, no. 6. DOI: 10.1029/2003GL019341.

19. Steinfeld D., Boettcher M., Forbes R., Pfahl S. The sensitivity of atmospheric blocking to upstream latent heating—numerical experiments // *Weather Clim. Dynam.* 2020. Vol. 1 (2). P. 405-426. DOI: 10.5194/wcd-1-405-2020

20. Tuel A., Martius O. Persistent warm and cold spells in the Northern Hemisphere extratropics: regionalisation, synoptic-scale dynamics and temperature budget // *Weather Clim. Dynam.* 2024. Vol. 5. P. 263-292. DOI: 10.5194/wcd-5-263-2024

21. Woollings T., Barriopedro D., Methven J., Son S.-W., Martius O., Harvey B., Sillmann J., Lupo A.R., Seneviratne S. Blocking and its response to climate change // *Current Climate Change Reports*. 2018. Vol. 4, no. 3. P. 287-300. DOI: 10.1007/s40641-018-0108-z

## References

1. Balabeikina O. A., Zavgorodnyaya A. A., Yankovskaya A. A. Shpicbergen v geopoliticheskom i geoekonomicheskom prostranstve [Svalbard in the Geopolitical and Geoeconomic Space]. *Ehkonomika i prirodopol'zovanie na Severe [Economy and nature management in the North]*, 2025, no. 3, pp. 5-14. DOI: 10.25587/2587-8778-2025-3-5-14 [In Russ.].

2. Girs A.A. Makrotsirkulyatsionny metod dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov [Macrocirculatory method of long-term meteorological forecasts]. Leningrad: Gidrometeoizdat publ., 1974, 488 p. [In Russ.].

3. Ilyushchenkova I. A., Korzhikov A. Ya., Ivanov B. V. Nekotorye mekhanizmy formirovaniya anomal'noy temperatury vozdukha v letnie sezony na arkh. Shpicbergen [Some mechanisms of abnormal surface air temperature formation in the area of the Spitsbergen archipelago in summer]. *Problemy Arktiki i Antarktiki [Arctic and Antarctic Research]*, 2024, vol. 70 no. 2, pp. 161-173. DOI: 10.30758/0555-2648-2024-70-2-161-173 [In Russ.].

4. Ilyushchenkova I. A., Korzhikov A. Ya., Ivanov B. V. Nekotorye zakonomernosti formirovaniya ehkstremaal'nykh prizemnykh temperatur vozdukha v rajone arhipelaga Shpicbergen v kholodnyj period goda [Some patterns of formation of extreme surface air temperatures in the area of the Svalbard archipelago during the cold period]. *Problemy Arktiki i Antarktiki [Arctic and Antarctic Research]*, 2023, vol. 69, no. 2, pp. 141-156. DOI: 10.30758/0555-2648-2023-69-2-141-156 [In Russ.].

5. Karandasheva T. K., Demin V. I., Ivanov B. V., Revina A. D. Izmeneniya temperatury vozdukha v Barenburge (Shpicbergen) v XX-XXI vv. Obosnovanie vvedeniya novoj klimaticheskoy normy [Air temperature changes in Barentsburg (Svalbard) in XX-XXI centuries. Justification for introducing a new climate standard]. *Rossiyskaya Arktika [Russian Arctic]*, 2021, vol. 2, no. 13, pp. 26-39. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-2-26-39 [In Russ.].

6. Kulikova I. A., Kruglova E. N., Sumerova K. A., Khan V. M. Volny tepla i blokiryushchie anticiklony letom 2021 goda v prognozakh i nablyudeniya [Heat Waves and Blocking Anticyclones in Summer 2021 in Forecasts and Observations]. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2022, vol. 1, no. 383, pp. 7-21. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-1-7-21 [In Russ.].

7. Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary. Saint Petersburg, Naukoemkie tekhnologii, 2022, 124 p. [In Russ.].

8. Ugriumov A.S., Lavrova I.V. Osnovnye zakonomernosti obshchej cirkulyacii atmosfery: uchebnoe posobie. [Fundamental Patterns of the General Circulation of the Atmosphere: A textbook] Saint Petersburg, Russian State Hydrometeorological University, 2021, 72 p. [In Russ.].
9. Shakina N.P., Ivanova A.R., Birman B.A., Skriptunova E.N. Blokirovaniye: usloviya leta 2010 g. v kontekste sovremennykh znaniy [Blocking: Summer Conditions of 2010 in the Context of Modern Knowledge]. *Analiz usloviy anomal'noj pogody na territorii Rossii letom 2010 goda (sbornik dokladov)* [Analysis of Abnormal Weather Conditions in Russia in the Summer of 2010 (Collection of Reports)]. Moscow: Triada LTD publ., 2011, pp.6-21 [In Russ.].
10. Yusupov Y.I. Metod prognoza shkvalov s ispol'zovaniem termodinamicheskikh parametrov atmosfery i potencial'nogo vikhrya Ehrtelya [The method of forecasting squalls using thermodynamic atmospheric parameters and the Ertel potential vorticity]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 2013, vol. 38, no. 11. pp. 55-63 [In Russ.].
11. Borovko I. V., Gradov V. S., Platov G. A., Krupchatnikov V. N. Numerical Study of the Arctic Oscillation Impact on the Atmospheric Blocking Characteristics. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2024, vol. 48, no. 11, pp. 946-953. DOI: 10.3103/S1068373923110031
12. Hattermann T., Isachsen P.E., von Appen W.-J., Albretsen J., Sundfjord A. Eddy-driven recirculation of Atlantic Water in Fram Strait. *Geophysical Research Letters*, 2016, vol. 43. DOI: 10.1002/2016GL068323
13. Hersbach H., Dee D. ERA5 reanalysis is in production. *ECMWF Newsletter*, 2016, vol. 147, pp. 7.
14. Kautz L.-A., Martius O., Pfahl S., Pinto J. G., Ramos A. M., Sousa, P. M., Woollings T. Atmospheric blocking and weather extremes over the Euro-Atlantic sector – a review. *Weather and Climate Dynamics*, 2022, vol. 3, pp. 305-336. DOI: 10.5194/wcd-3-305-2022
15. Naakka T., Nygård T., Tjernström M., Vihma T., Pirazzini R., Brooks I. M. The impact of radiosounding observations on numerical weather prediction analyses in the Arctic. *Geophysical Research Letters*, 2019, vol. 46, no. 14, pp. 8527-8535. DOI: 10.1029/2019GL083332
16. Platov G., Krupchatnikov V., Gradov V., Borovko I., Volodin E. Analysis of the Northern Hemisphere Atmospheric Circulation Response to Arctic Ice Reduction Based on Simulation Results. *Geosciences (Switzerland)*, 2021, vol. 11, no. 9, pp. 373. DOI: 10.3390/geosciences11090373
17. Russo S., Sillmann J., Fischer E. M. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environmental Research Letters*, 2015, vol. 10, no. 12, pp. 124003. DOI: 10.1088/1748-9326/10/12/124003
18. Schwierz C., Croci-Maspoli M., Davies H. C. Perspicacious indicators of atmospheric blocking. *Geophysical Research Letters*, 2004, vol. 31, no. 6. DOI: 10.1029/2003GL019341
19. Steinfeld D., Boettcher M., Forbes R., Pfahl, S. The sensitivity of atmospheric blocking to upstream latent heating—numerical experiments. *Weather and Climate Dynamics*, 2020, vol. 1(2), pp. 405-426. DOI: 10.5194/wcd-1-405-2020
20. Tuel A., Martius O. Persistent warm and cold spells in the Northern Hemisphere extratropics: regionalisation, synoptic-scale dynamics and temperature budget. *Weather and Climate Dynamics*, 2024, vol. 5, pp. 263-292. DOI: 10.5194/wcd-5-263-2024
21. Woollings T., Barriopedro D., Methven J., Son S.-W., Martius O., Harvey B., Sillmann J., Lupo A. R., Seneviratne S. Blocking and its response to climate change. *Current Climate Change Reports*, 2018, vol. 4, no. 3, pp. 287-300. DOI: 10.1007/s40641-018-0108-z

Поступила 21.12.2025; принята в печать 26.05.2026.  
Submitted 21.12.2025; accepted for publication 26.05.2026.