

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2023-2-5-12>
УДК 551.5+551.581.2+551.583.16

Поступила в редакцию 23.09.2023
Received 23.09.2023

**ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ХОЛОДНЫХ И ТЕПЛЫХ ЗИМ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ
(НА ПРИМЕРЕ БЕЛАРУСИ)**

В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Упорядоченная долговременная адвекция воздуха из одних широтных и долготных зон в соседние является основным фактором возникновения продолжительных климатических аномалий. Обязательным условием при этом является устойчивость процессов общей циркуляции атмосферы.

Цель работы – установить связь атмосферного давления и климатических аномалий с использованием данных NCEP/NCAR Reanalysis 1 на изобарической поверхности 1000 гПа и дат суровых и теплых зим. В качестве показателя изменчивости геопотенциала использованы значения его среднеквадратических отклонений для каждого из зимних месяцев года. Исследованы отклонения геопотенциала в различных широтных и долготных зонах земного шара. На этой основе проведен анализ пространственно-временной изменчивости геопотенциала на изобарической поверхности 1000 гПа в зимние месяцы, а также определены имеющие ясный физический смысл максимальные градиенты геопотенциала 1000 гПа «субтропики – умеренные и субполярные широты» за период времени с 1949 по 2021 г., определяющие, по сути, интенсивность западного переноса воздушных масс в средних широтах и суровость зим в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария.

Ключевые слова: западный перенос; геопотенциал; градиент геопотенциала; холодные и теплые зимы.

Для цитирования. Логинов В. Ф., Микуцкий В. С. Циркуляционные особенности формирования холодных и теплых зим в северном полушарии (на примере Беларуси) // Природопользование. – 2023. – № 2. – С. 5–12.

**THE CIRCULATION FEATURES OF THE FORMATION
OF COLD AND WARM WINTERS IN THE NORTHERN HEMISPHERE
(FOR THE EXAMPLE OF BELARUS)**

V. F. Loginov, V. S. Mikutsky

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. Ordered long-term advection of air from one latitudinal and longitudinal zones to neighboring ones is the main factor in the occurrence of long-term climatic anomalies. A prerequisite for this is the stability of the processes of general atmospheric circulation.

The aim of the work is to establish the relationship between atmospheric pressure and climatic anomalies using NCEP/NCAR Reanalysis 1 data of geopotential values on an isobaric surface of 1000 hPa and dates of severe and warm winters. As an indicator of geopotential variability, the values of standard deviations of geopotential values for each of the winter months of the year were used.

The emphasis in the work is on studying these changes in geopotential deviations in various latitudinal and longitudinal zones. On this basis, an analysis of the spatiotemporal variability of the geopotential on the isobaric surface of 1000 hPa in the winter months was carried out, and the maximum gradients of the geopotential 1000 hPa 'subtropics – temperate and subpolar latitudes' were determined for the period from 1949 to 2021. These gradients have a clear physical meaning and determine, in fact, the intensity of westerly transport of air masses in mid-latitudes and the severity of winters in the Atlantic-European sector of the Northern Hemisphere.

Keywords: westerly transport; geopotential; geopotential gradient; cold and warm winters.

For citation. Loginov V. F., Mikutsky V. S. The circulation features of the formation of cold and warm winters in the Northern Hemisphere (for the example of Belarus). *Nature Management*, 2023, no. 2, pp. 5–12.

Введение. Основные особенности барического поля и планетарной циркуляции (ООПЦ) состоят в следующем.

Трехволновая система барического поля и атмосферной циркуляции в атмосфере хорошо отслеживается на картах радиационного баланса и облачности. Это способствует формированию трех синоптических районов в системе общей циркуляции атмосферы (ОЦА) в умеренных широтах: атлантико-европейского, азиатского и американского. Такая структура ОЦА приводит к формированию в умеренных широтах шести районов крупных аномалий гидрометеорологических характеристик, совпадающих с тремя гребнями и тремя ложбинами распределения давления в тропосфере [1]. Региональные особенности изменений климата зависят от долготного положения высотных ложбин и гребней и их устойчивости, а также морфометрических характеристик (широты, долготы, интенсивности центров действия атмосферы). Для атлантико-европейского синоптического района большое значение имеют морфометрические характеристики Исландского минимума и Азорского максимума атмосферного давления.

Установлено, что только устойчивые в пространстве ООПЦ, даже при их слабом развитии, приводят к крупным климатическим эффектам, вызывая продолжительную во времени упорядоченную адвекцию воздуха из одних широтных и долготных зон в соседние, а также большие изменения радиационного режима при продолжительном стационаровании барических образований.

Резкое понижение температуры воздуха зимой (суровые зимы) наблюдается в районах расположения высотных ложбин при их углублении. Этому способствует ослабление западного потока в высоких широтах и смещение западных ветров к экватору. Как следствие, происходит блокирование широтного перемещения воздушных масс в результате развития длинных стационарных волн в западном переносе.

Слабое развитие высотных гребней и ложбин в умеренных широтах улучшает обмен воздушных масс между океаническими и континентальными регионами и приводит к режиму, характерному для теплых зимних периодов, а также периодов хорошего увлажнения континентальных регионов в летний период.

Цели и задачи, методы. Описанные во введении устойчивые в пространстве особенности барического поля запускают механизм переноса воздушных масс в атмосфере, имеющего определяющую роль в возникновении климатических аномалий, в частности холодных и теплых зим на территории Беларуси. Цель работы – установить количественные характеристики таких связей на основе анализа данных NCEP/NCAR Reanalysis 1 значений геопотенциала на изобарической поверхности 1000 гПа. В качестве показателя изменчивости давления использованы значения среднеквадратических отклонений значений геопотенциала в зимние месяцы – одной из важных характеристик изменчивости параметров ОЦА, которая определяет повторяемость холодных и теплых зим.

Причины формирования холодных и теплых зим в Европейском секторе и на территории Беларуси рассматривались ранее [2, 3]. Особенностью данной работы является изучение указанных изменений отклонений геопотенциала в различных широтных и долготных зонах. На этой основе становится возможным провести анализ пространственной нестабильности климата в различных регионах земного шара, а также определить максимальные градиенты геопотенциала 1000 гПа «субтропики – умеренные и субполярные широты» за период времени с 1949 по 2021 г., определяющие, по сути, интенсивность западного переноса воздушных масс в средних широтах и суровость зим в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария.

Результаты исследований. В качестве показателя изменчивости геопотенциала вычислены значения среднеквадратических отклонений геопотенциала на поверхности 1000 гПа в широтном и долготном направлениях в зимние месяцы года в Северном и Южном полушариях (80° с. ш. – 80° ю. ш.). При расчетах использованы данные проекта NCEP/NCAR Reanalysis 1 [4] по значениям геопотенциала, предоставляемые лабораторией физических наук Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA PSL) [5], при разрешении градусной сетки 5° × 10° по широте и долготе соответственно.

Пространственный анализ нестабильности климата. На рис. 1 представлены стандартные отклонения геопотенциала 1000 гПа вдоль долготных и широтных кругов за период с 1949 по 2019 г. Наиболее яркой особенностью изменения среднеквадратического отклонения в широтном направлении является максимум в Северном полушарии, приходящийся на широтный пояс 45°–65° с. ш. Значения среднеквадратических отклонений в широтном поясе 15°–30° с. ш. несколько больше в последние месяцы зимы (январь – февраль), что вполне объяснимо.

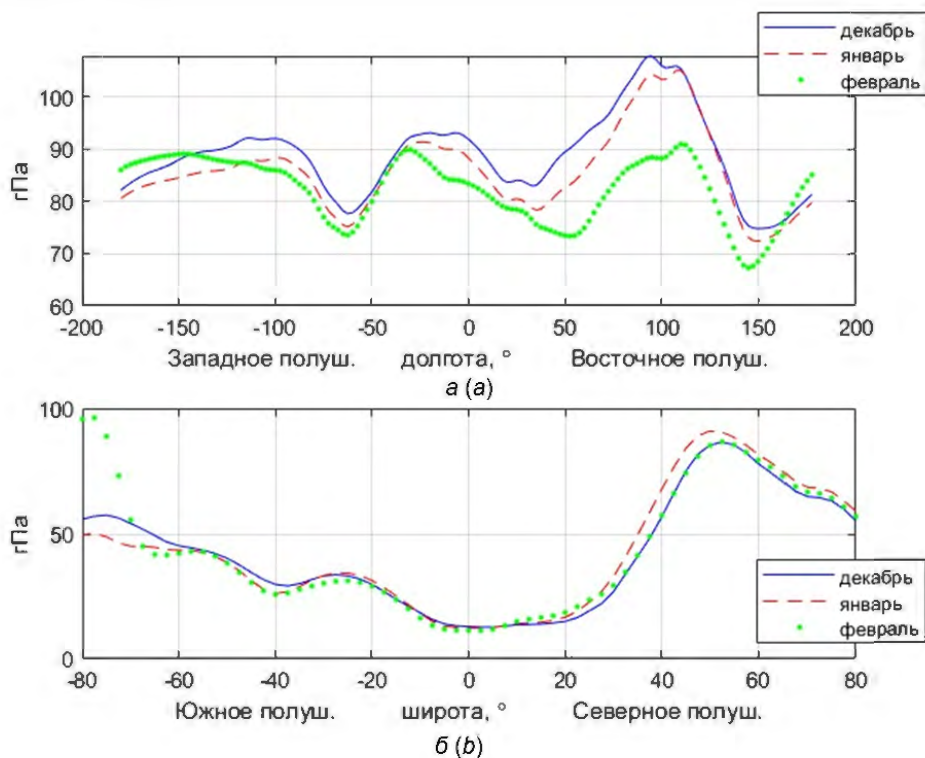


Рис. 1. Стандартное отклонение геопотенциала на поверхности 1000 гПа вдоль долготных (а) и широтных (б) кругов для зимних месяцев 1949–2021 гг.

Fig 1. Standard deviation of geopotential on the surface of 1000 hPa along longitudinal (a) and latitudinal (b) circles for the winter months of 1949–2021

В океаническом Южном полушарии в указанное время года наблюдается лето и, как следствие, отмечаются два слабо выраженных максимума в изменении геопотенциала, приходящиеся на субтропический максимум атмосферного давления вблизи 30° ю. ш. и второй слабый максимум в умеренных широтах в широтном поясе вблизи 50° ю. ш. Минимальные значения среднеквадратического отклонения геопотенциала приходятся на широтный пояс 5° ю. ш.– 20° с. ш.

Представленные на рис. 2 и 3 пространственные изменения среднеквадратических отклонений для различных широтных и долготных зон несколько отличаются для восьми холодных и восьми теплых зим.

Изменения геопотенциала 1000 гПа в зависимости от широты характеризуются максимальными значениями среднеквадратических отклонений в континентальных районах (долготный пояс 80° – 120° в. д.), что объяснимо большей континентальностью пояса. Наибольший рост значений среднеквадратических отклонений наблюдается на границе естественного синоптического района, выделенного еще в начале прошлого столетия Б. П. Мультановским (110° в. д.) [6].

Различия среднеквадратических отклонений температуры особенно заметны в феврале месяце: над Северо-Американским континентом среднеквадратические отклонения температуры минимальны для холодных зим, тогда как для теплых зим, наоборот, они максимальны. Подобная ситуация складывается на востоке Атлантического сектора (45° – 0° з. д.) и над Европейским сектором (0° – 60° в. д.): среднеквадратические отклонения температуры минимальны в этих секторах в случае холодных зим и повышены в случае теплых зим.

В Южном полушарии небольшой максимум отмечается в долготном поясе 0° – 40° з. д., особенно в январе (лето Южного полушария). Этот долготный пояс приходится на Южную Атлантику, где формируются Южное и Северное пассатные течения.

В теплые зимы максимум в изменчивости геопотенциала размыт и его средняя широта смещается в северном направлении, что подтверждает вывод о смещении путей циклонов в более высокие широты при потеплении климата (рис. 2).

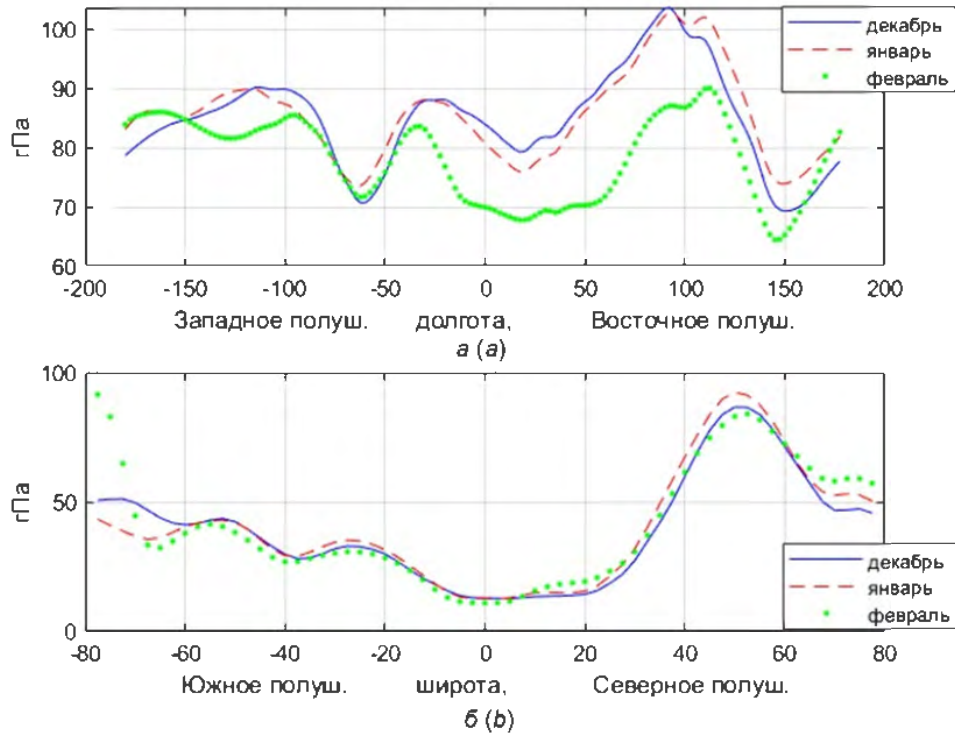


Рис. 2. Стандартное отклонение геопотенциала на поверхности AT_{1000} вдоль долготных (а) и широтных (б) кругов для восьми самых холодных зим на территории Беларуси

Fig. 2. Standard deviation of geopotential on the surface of AT_{1000} along longitudinal (a) and latitudinal (b) circles for the eight coldest winters on the territory of Belarus

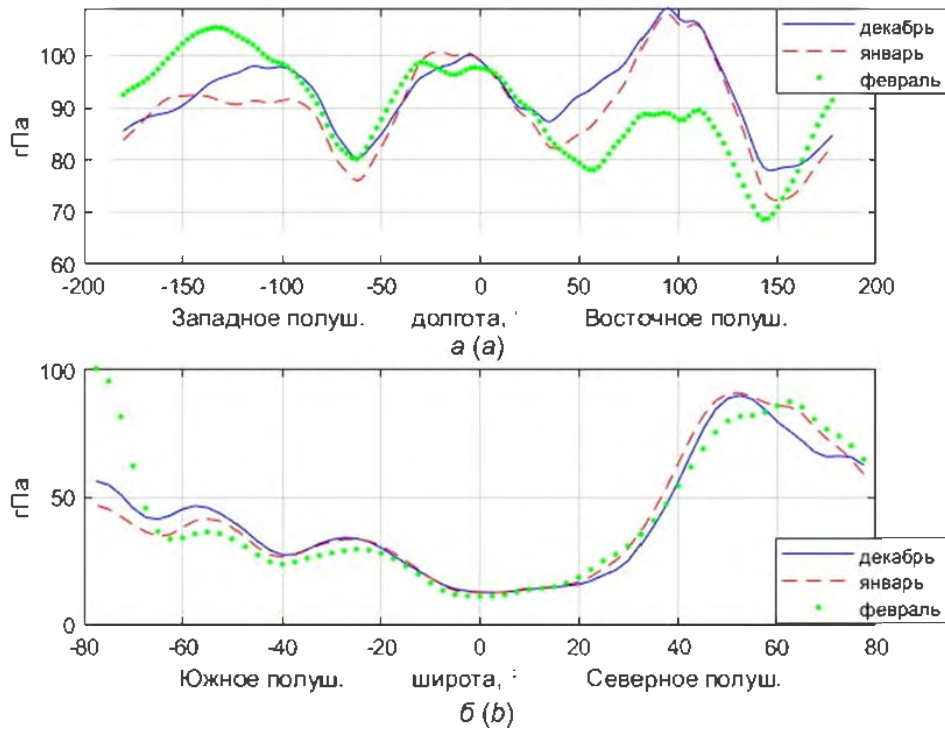


Рис. 3. Стандартное отклонение геопотенциала на поверхности 1000 гПа вдоль долготных (а) и широтных (б) кругов для восьми самых теплых зим на территории Беларуси

Fig. 3. Standard deviation of geopotential on the surface of 1000 hPa along longitudinal (a) and latitudinal (b) circles for the eight warmest winters on the territory of Belarus

Некоторые различия среднеквадратических отклонений геопотенциала 1000 гПа для разных месяцев зимнего времени года отмечаются для высоких широт Северного и Южного полушарий ($\varphi \geq 60^\circ$ с. ш. и $\varphi \geq 60^\circ$ ю. ш.). В частности, большая изменчивость температуры обнаруживается в случае теплых зим в Северном полушарии. Это особенно заметно для второй половины зимы (январь – февраль). Среднеквадратические же отклонения геопотенциала 1000 гПа в феврале существенно меньше по величине в долготных поясах 40° з. д. – 110° в. д. и 40° в. д. – 140° в. д. для холодных и теплых зим соответственно, то есть в первом и частично втором (в восточной его части) Евразийских синоптических районах Б. П. Мультановского.

Генеральной особенностью пространственного распределения значений стандартного отклонения по широте является наличие ярко выраженных трех максимумов в следующих долготных поясах: 140° – 90° з. д., 35° з. д. – 10° в. д. и 80° – 115° в. д., на который приходится самый мощный максимум изменчивости геопотенциала как для теплых, так и для холодных зим. Общая картина в целом сохраняется и для всего доступного ряда значений геопотенциала (1949–2021 гг.; см. рис. 1): ярко выраженная изменчивость геопотенциала остается в районе Сибирского максимума (80° – 115° в. д.); менее выражен максимум в восточной части Атлантического океана (45° – 10° з. д.) и размытый максимум наблюдается в долготном поясе 160° – 90° з. д. во второй половине зимы (январь – февраль) (см. рис. 1).

Особенности изменений среднеквадратического отклонения геопотенциала 1000 гПа характеризуют пространственную нестабильность климата в различных регионах земного шара. В частности, выше было показано, что самой высокой нестабильностью отличается климат широтного пояса 50° – 65° с. ш. Северного полушария в зимнее время года.

Определение долготного интервала максимальных градиентов геопотенциала 1000 гПа «субтропики – умеренные и субполярные широты». Для указанной цели был осуществлен поиск областей с максимальными значениями отрицательной корреляции геопотенциала 1000 гПа в субтропиках с геопотенциалом 1000 гПа в умеренных и субполярных широтах. Анализ показал, что наиболее сильные отрицательные корреляции значений геопотенциала 1000 гПа существуют между районами, ограниченными следующими координатами: $27,5^\circ$ – $37,5^\circ$ с. ш., 10° з. д. – $2,5^\circ$ в. д. и 65° с. ш. – 75° с. ш., 5° з. д. – $7,5^\circ$ в. д. Для указанных сферических широтно-долготных прямоугольников [7] в субтропических и субполярных широтах характерен максимальный градиент геопотенциала 1000 гПа за период времени с 1949 по 2021 г. Указанный градиент имеет ясный физический смысл и, собственно и определяет интенсивность западного переноса воздушных масс в средних широтах. В многочисленных работах показана связь между интенсивностью западного переноса воздушных масс и суровостью зим в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария [1, 4].

Значения разности геопотенциала AT_{1000} в названных выше прямоугольниках для каждого месяца зимнего сезона за период с 1949 по 2021 г. представлены на рис. 4, из которого следует, что наибольшие значения разностей геопотенциала AT_{1000} наблюдаются с середины 1970-х годов в декабре и январе. В феврале рост потенциала AT_{1000} отмечается только с конца 1980-х годов, то есть на 15–17 лет позже.

Средние величины градиентов геопотенциала оказались наименьшими в первые 25–35 лет, а наибольшими в середине ряда (1974–1999 гг.). В последние два десятилетия средние значения градиентов геопотенциала субтропических и умеренных широт несколько уменьшились по сравнению с предыдущим периодом. Подобная структура временной изменчивости характерна и для индекса Северо-Атлантического колебания (САК), что вполне естественно, поскольку принципы вычисления этих двух показателей атмосферной циркуляции весьма близки.

Градиенты геопотенциала на барической поверхности 1000 гПа для выделенных прямоугольников в субтропических и субполярных широтах в случае холодных и теплых зим приведены в табл. 1, из которой следует, что градиенты геопотенциала на поверхности AT_{1000} для выделенных широтно-долготных прямоугольников в случае теплых зим в среднем более, чем в 3 раза превышают градиенты геопотенциала в случае холодных зим (различие средних величин указанных градиентов составляет 153). Особенно большие различия величин градиентов геопотенциала характерны для января ($\Delta = 186$).

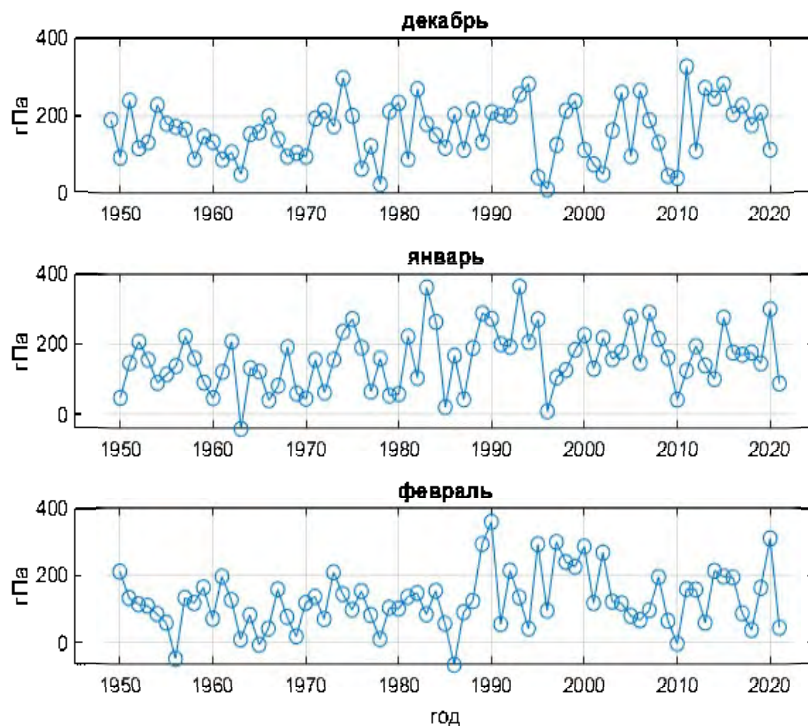


Рис. 4. Градиент геопотенциалов на поверхности AT_{1000} для выделенных широтно-долготных прямоугольников субтропических и умеренных широт в зимний период (1949–2021 гг.)

Fig. 4. Geopotential gradient on the AT_{1000} surface for selected latitude-longitude rectangles of subtropical and temperate latitudes in winter (1949–2021)

Таблица 1. Градиент геопотенциалов на поверхности AT_{1000} для выделенных широтно-долготных прямоугольников в субтропических и субполярных зонах в случае холодных и теплых зим

Table 1. Geopotential gradient on the AT_{1000} surface for selected latitude-longitude rectangles in subtropical and subpolar zones in the case of cold and warm winters

Холодный зимний сезон	Декабрь (XII)	Январь (I)	Февраль (II)	Зима
1953–1954 гг.	131	90	84	102
1962–1963 гг.	106	-40	9	25
1967–1968 гг.	139	191	75	135
1968–1969 гг.	95	60	18	57
1969–1970 гг.	104	45	117	89
1978–1979 гг.	24	54	102	60
1984–1985 гг.	150	21	56	75
1995–1996 гг.	42	9	94	49
<i>Среднее значение</i>	99	54	69	74
Теплый зимний сезон	Декабрь (XII)	Январь (I)	Февраль (II)	Зима
1960–1961 гг.	132	121	195	149
1974–1975 гг.	296	271	97	221
1988–1989 гг.	215	288	291	265
1989–1990 гг.	132	272	357	253
2007–2008 гг.	188	193	199	
2014–2015 гг.	244	275	195	238
2015–2016 гг.	281	176	192	216
2019–2020 гг.	208	299	308	272
<i>Среднее значение</i>	212	240	228	227

Аномалии (стандартизированные отклонения) геопотенциала на уровне барической поверхности 1000 гПа в выделенных прямоугольниках в субтропических и субполярных широтах для случаев холодных и теплых зим за период с 1949 по 2021 г. приведены в табл. 2, из которой видно, что в подавляющем числе зимних месяцев в случае холодных и теплых зим наблюдаются аномалии геопотенциала разного знака.

Таблица 2. Аномалии геопотенциала AT_{1000} в выделенных выше субтропических и субполярных широтах для холодных и теплых зим

Table 2. Anomalies of the AT_{1000} geopotential in the subtropical and subpolar latitudes identified above for cold and warm winters

Холодный зимний сезон	Декабрь (XII)	Январь (I)	Февраль (II)	Теплый зимний сезон	Декабрь (XII)	Январь (I)	Февраль (II)
<i>Субполярные широты</i>							
1953–1954 гг.	0,11	0,95	0,26	1960–1961 гг.	-0,10	0,53	-0,39
1962–1963 гг.	0,67	2,16	1,11	1974–1975 гг.	-1,60	-1,39	0,34
1967–1968 гг.	0,35	-0,23	0,28	1988–1989 гг.	-0,35	-1,30	-1,94
1968–1969 гг.	0,65	1,07	0,68	1989–1990 гг.	-0,04	-1,32	-2,83
1969–1970 гг.	0,76	1,08	0,34	2007–2008 гг.	-0,10	-0,45	-0,70
1978–1979 гг.	2,00	0,83	0,11	2014–2015 гг.	-0,95	-1,32	-1,12
1984–1985 гг.	0,37	1,50	1,00	–	–	–	–
1995–1996 гг.	1,65	1,24	0,29	–	–	–	–
<i>Субтропические широты</i>							
1953–1954 гг.	-0,82	-0,23	-0,83	1960–1961 гг.	-1,27	-0,09	1,59
1962–1963 гг.	-0,61	-2,06	-1,53	1974–1975 гг.	1,47	0,88	-0,11
1967–1968 гг.	-0,11	0,66	-1,53	1988–1989 гг.	1,20	1,66	1,27
1968–1969 гг.	-1,01	-1,04	-2,30	1989–1990 гг.	-1,08	1,03	1,45
1969–1970 гг.	-0,46	-1,48	0,42	2007–2008 гг.	0,75	1,01	0,79
1978–1979 гг.	-0,73	-1,74	-0,48	2014–2015 гг.	1,02	1,17	-0,23
1984–1985 гг.	0,34	-1,40	-0,03	–	–	–	–
1995–1996 гг.	-0,77	-2,32	-0,43	–	–	–	–

Примечание: – холодные зимы; – теплые зимы.

Из табл. 2 следует, что для восьми холодных зим аномалии геопотенциала AT_{1000} в субполярных широтах во всех случаях, кроме одного (январь 1968 г.), положительные, что свидетельствует о снижении интенсивности западного переноса воздушных масс, то есть интенсивности переноса теплого и влажного воздуха с Атлантики. Для теплых зим в субполярных широтах наблюдаются преимущественно отрицательные аномалии AT_{1000} (доля положительных составляет лишь 11 %). Такое распределение геопотенциала приводит к усилению градиента AT_{1000} субтропических и субполярных широт, интенсификации западного переноса и формированию теплых зим на территории Беларуси.

В субтропиках общая картина знака аномалий геопотенциала 1000 гПа для холодных и теплых зим меняется на противоположную. Отрицательные аномалии геопотенциала в случае холодных зим (их доля составляет 88 %) приводят к ослаблению градиента геопотенциала AT_{1000} , что снижает интенсивность западного переноса теплых воздушных масс с Атлантики.

В случае формирования теплых зим в Беларуси знак аномалий AT_{1000} в субтропиках остается в большинстве случаев положительным, число противоположных по знаку аномалий AT_{1000} составляет только 28 %. Это свидетельствует о том, что роль субполярных широт в формировании величины и знака градиента AT_{1000} «субтропики – субполярные широты» и, как следствие, интенсивности западного переноса воздушных масс и суровости зим в Беларуси более существенная, чем субтропических широт.

Выводы.

1. Показано, что самой высокой нестабильностью отличается геопотенциал в широтном поясе 50–65° с. ш. Северного полушария в зимнее время года.

2. Определены области с наиболее тесными отрицательными связями значений геопотенциала 1000 гПа «субтропики – субполярные широты». Оказалось, что наиболее тесные отрицательные корреляции значений геопотенциала 1000 гПа существуют между районами, ограниченными следующими координатами: 27,5°–37,5° с. ш., 10° з. д. – 2,5° в. д. и 65°–75° с. ш., 5° з. д. – 7,5° в. д. Сравнительный анализ указанных градиентов геопотенциала на поверхности AT_{1000} выявил, что в случае теплых

зим в Беларуси эти градиенты в среднем более чем в 3 раза превышают градиенты в случае холодных зим; наибольшие различия величин градиентов геопотенциала при этом характерны для января.

3. Показано, что роль субполярных широт в формировании величины и знака градиента AT_{1000} «субтропики – субполярные широты» и, как следствие, интенсивности западного переноса воздушных масс и суровости зим в Беларуси более существенная, чем субтропических широт.

Список использованных источников

1. Сазонов, Б. И. Суровые зимы и засухи / Б. И. Сазонов. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 240 с.
2. Логинов, В. Ф. Повторяемость и возможные причины формирования холодных и теплых зим на территории Беларуси за период инструментальных наблюдений / В. Ф. Логинов // Природные ресурсы. – 2010. – № 2. – С. 121–124.
3. Логинов, В. Ф. Причины формирования холодных и теплых зим в Европейском секторе и на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Гидрометеорология и образование. – 2022. – № 3. – С. 10–21.
4. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project / E. Kalnay [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – 1996. – Vol. 77, iss. 3. – P. 437–471. doi:10.1175/1520-0477(1996)077<0437:tnyrp>2.0.co;2
5. NOAA Physical Sciences Laboratory [Electronic resource]. – Mode of access: <https://psl.noaa.gov>. – Date of access: 28.03.2023.
6. Климатические аномалии, их диагностика и прогнозирование / Е. П. Борисенков, В. Ф. Логинов [и др.] // Обзор ВНИИГМИ-МЦД, сер. Метеорология. – Обнинск, 1988. – Вып. 6. – 62 с.
7. Груза, Г. В. О пространственном осреднении в задачах мониторинга климата / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова, В. Д. Смирнов // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. – 2013. – Т. 25. – С. 42–70.

References

1. Sazonov B. I. *Surovyye zimy i zasukhi* [Severe winters and droughts]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1991, 240 p. (in Russian)
2. Loginov V. F. *Povtoryayemost' i vozmozhnyye prichiny formirovaniya kholodnykh i teplykh zim na territorii Belarusi za period instrumental'nykh nablyudeni* [Repeatability and possible causes of the formation of cold and warm winters on the territory of Belarus during the period of instrumental observations]. *Prirodnyye resursy = Natural Resources*, 2010, no. 2, pp. 121–124. (in Russian)
3. Loginov V. F., Brovka Yu. A. *Prichiny formirovaniya kholodnykh i teplykh zim v Yevropeyskom sektore i na territorii Belarusi* [Reasons for the formation of cold and warm winters in the European sector and on the territory of Belarus]. *Gidrometeorologiya i obrazovaniye = Hydrometeorology and Education*, 2022, no. 3, pp. 10–21. (in Russian)
4. Kalnay E., et al. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, vol. 77, iss. 3, pp. 437–471. doi:10.1175/1520-0477(1996)077<0437:tnyrp>2.0.co;2
5. NOAA Physical Sciences Laboratory. Available at: <https://psl.noaa.gov> (accessed 28 April 2023).
6. Borisenkov E. P., Loginov V. F., et al. *Klimaticheskiye anomalii, ikh diagnostika i prognozirovaniye* [Climatic anomalies, their diagnosis and forecasting]. *Obzor VNIIGMI-MTSD, ser. Meteorologiya = Review of VNIIGMI-MCD, series Meteorology*. Obninsk, 1988, issue 6, 62 p. (in Russian)
7. Gruza G. V., Rankova E. Ya., Smirnov V. D. *O prostranstvennom osrednenii v zadachakh monitoringa klimata* [On spatial averaging in climate monitoring tasks]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniye ekosistem = Problems of environmental monitoring and modelling of ecosystems*, 2013, vol. 25, pp. 42–70. (in Russian)

Информация об авторах

Логинов Владимир Федорович – академик, доктор географических наук, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Микуцкий Владимир Станиславович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: mvs@nature-nas.by

Information about authors

Vladimir F. Loginov – Academician, D. Sc. (Geography), Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Vladimir S. Mikutsky – Ph. D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: mvs@nature-nas.by