

УДК: 551.509.318

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОВТОРЯЕМОСТИ
СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СРЕДНЕЙ АЗИИ****Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,2*}, Э.И. АБДУЛАХАТОВ²**¹ Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, b.xolmatjanov@nuu.uz² Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, erik_sen@mail.ru

Аннотация. *Исследовано изменение повторяемости синоптических процессов Средней Азии в текущем климатическом периоде по сравнению с базовым климатическим периодом. Показано, что в текущем климатическом периоде повторяемость холодных вторжений с северо-запада и севера, приводящие к существенному понижению температуры воздуха в регионе, заметно уменьшилась во все сезоны года. Увеличилась повторяемость малоградиентных полей повышенного и пониженного давлений, которые обуславливают трансформацию приходящих воздушных масс в регион в местные воздушные массы.*

Ключевые слова: *циркуляция атмосферы, синоптические процессы, повторяемость, климатический период, Средняя Азия.*

Введение. Среди компонентов климатической системы Земли атмосфера выделяется своей динамичностью. Циркуляция атмосферы, являясь внутренним геофизическим фактором климата, оказывает большое влияние на его формирование. В выполненных Alexander et al. (2004), Martynova, Krupchatnikov (2015), Screen et al. (2018), Shepherd (2014), Sidorenkov, Orlov (2008), Voigt et al. (2021), Yang et al. (2021), Ye, Jung (2019), Zhu et al. (2015) и многих других работах, исследованы условия как глобальной циркуляции атмосферы, так и ее проявления в различных региональных масштабах мира с точки зрения изменения климата в различных периодах времени. Подчеркивая важность изучения циркуляции атмосферы, Shepherd (2014) отмечает: «Почти всё, в чем мы можем быть уверены, когда речь идет об изменении климата, связано с глобальными моделями приземной температуры, которые в основном контролируются термодинамикой. Напротив, мы гораздо меньше уверены в аспектах изменения климата, связанных с атмосферной циркуляцией, которые в основном контролируются динамикой и оказывают сильное влияние на региональный климат».

Климат в среднеазиатском регионе определяется вкладом различных типов синоптических процессов, который выражается их повторяемостью и продолжительностью по сезонам, полугодиям и в целом за год, осредненные за определенные период времени. Результаты исследования этих характеристик за различные периоды нашли свое отражение в работах В.А.Бугаева, В.А.Джорджо, Т.А.Сарымсакова, Э.С.Ильиновой, А.Ю.Турсунова, З.Г.Эмм, М.И.Морозовой, О.И.Чернышевой, Т.А.Войновой, Т.С.Григорьевой, Э.С.Казарянц, О.И.Субботиной, С.Г.Чанышевой, Т.М.Чевычаловой, И.С.Кима, С.И.Инагамовой, Т.М.Мухтарова, Г.А.Мамаджановой, Ю.В.Петрова, Б.М.Холматжанова и др. [Войнова и др., 1983; 1985; Ильинова и др., 1965; Иногамова, 2009а, 2009б.; Иногамова, Мухтаров, 2007; Ким, 2001; Молоснова, Илиняк, 1991; Очерки ..., 2011; Петров и др., 2017; Руководство ..., 1986; Синоптические ..., 1957; Субботина, Чевычалова, 1991; Mamadjanova et al., 2018]. В этих работах детально исследованы статистические характеристики типов синоптических процессов за периоды 1935-1944, 1944-1962, 1944-1978, 1954-1978, 1961-1990, 1935-2014 и 1991-2016 годы.

* Ответственный автор: b.xolmatjanov@nuu.uz, тел.: +998 99 878-51-27

Последние несколько десятилетия ознаменованы существенным изменением глобального и регионального климата. На фоне глобальных климатических изменений усыхание Аральского моря и образование пустыни Аралкум, стало дополнительной причиной изменения климатической системы среднеазиатского региона, в том числе и территории Узбекистана. Изменение общей циркуляции атмосферы северного полушария в указанном периоде явилось причиной изменения синоптических процессов Средней Азии. Учитывая данное обстоятельство появляется объективная необходимость исследования особенностей изменения синоптических процессов Средней Азии в завершившемся тридцатилетнем (1991-2020 гг.) периоде.

Целью исследования является статистическая оценка изменения повторяемости синоптических процессов в текущем климатическом периоде (1991-2020 гг.) относительно базового климатического периода (1961-1990 гг.). **Задача** исследования – дополнение и уточнение результатов, полученных в работе [Петров и др., 2017].

Объектом исследования является региональная циркуляция атмосферы над Средней Азией, а **предметом** – характеристики повторяемости синоптических процессов Средней Азии.

Исходные данные. Для выполнения исследования были использованы календари синоптических процессов Средней Азии [Календарь ..., 1993, 2013]. При обработке ежедневных данных календарей учитывались основные типы синоптических процессов (тип, указанный в числителе). Статистико-стохастические характеристики синоптических процессов за базовый климатический период взяты из монографии [Инагамова и др., 2002].

В работе использованы **методы** статистического и сравнительного анализа.

Основные результаты и их обсуждение. В текущем климатическом периоде среди типов синоптических процессов наибольшую повторяемость имеет малоградиентное поле повышенного давления, повторяемость которой заметно увеличилась относительно базового периода (от 19,4 до 31,1 случаев) в основном за счет холодного полугодия. Повторяемость малоградиентного поля пониженного давления также увеличилась от 17,5 случаев в базовом до 25,8 случаев в текущем периоде (табл. 1).

Следующее место занимает западное вторжение – 30,8 случаев (соответственно 16,0 случая или 52,1% и 14,7 случая или 47,9% в холодное и тёплое полугодия). В базовом климатическом периоде повторяемость данного типа составляла 33,4 случаев в год (16,3 случая или 48,8% в холодное полугодие и 17,1 случая или 51,2% – в тёплое). Таким образом, западное вторжение стало наблюдаться немного реже и произошло это уменьшение в основном в тёплое полугодие (табл. 1 и 2).

В базовом климатическом периоде среди типов синоптических процессов наибольшую повторяемость имела юго-западная периферия антициклона – в среднем 35,0 случаев за год (23,0 случая или 65,7% в холодное полугодие и 12,0 или 34,3% – в тёплое). Несколько реже наблюдалась южная периферия антициклона 10,2 (50,5%) случая в холодное полугодие и 10,0 (49,5%) случая в тёплое полугодие. Юго-восточная периферия антициклона наблюдалась с частотой в среднем 7,4 случая в год. Их суммарное количество составляло 62,6 случаев в год. В текущем периоде юго-западная периферия антициклона в среднем за год наблюдается с частотой 28,6 случаев, южная периферия – 20,0 случаев и юго-восточная периферия – 7,7 случаев. Таким образом, повторяемость юго-западной периферии несколько уменьшилась, а южной и юго-восточной периферии – практически не изменилась.

Некоторое уменьшение повторяемости свойственно и для группы южных циклонов. Так, если в базовом периоде в среднем за год выход южнокаспийского циклона

отмечался в 12,2, мургабского – 8,8 и верхнеамударьинского – 1,8 случаях, то в текущем периоде они наблюдаются немного реже – 10,8; 7,4 и 1,2 случаев, соответственно.

Таблица 1

Многолетние средние значения повторяемости типов (число случаев) синоптических процессов в различные периоды (1 – 1961-1990 гг., 2 – 1991-2020 гг.)

Table 1

Long-term average values of the frequency of types (number of cases) of synoptic processes in different periods (1 - 1961-1990, 2 - 1991-2020)

Тип	Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII	ТП	Год
1	1	1,5	1,8	2,4	2,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,8	1,1	1,2	10,2	2,0	12,2
	2	1,3	1,9	2,2	1,4	0,8	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	1,1	1,5	9,4	1,4	10,8
2	1	1,5	1,3	1,8	1,1	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	1,3	7,7	1,1	8,8
	2	1,6	1,2	1,4	1,0	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,6	6,6	0,7	7,4
3	1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	1,6	0,2	1,8
	2	0,4	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	1,1	0,1	1,2
4	1	0,4	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	2,1	0,4	2,5
	2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3
5	1	2,0	1,3	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,9	1,8	2,1	1,6	1,4	8,7	9,9	18,6
	2	0,7	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7	1,1	0,9	0,8	3,9	4,5	8,4
6	1	0,4	0,4	0,3	0,5	1,1	1,0	1,0	1,3	0,9	0,7	0,4	0,3	2,3	6,0	8,3
	2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	1,1	1,2	2,3
7	1	1,5	1,2	1,7	1,2	0,7	0,3	0,1	0,1	0,1	0,8	1,2	1,0	7,8	2,1	9,9
	2	0,4	0,7	0,8	0,5	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	3,6	0,6	4,2
8	1	0,6	0,6	1,2	1,2	1,4	0,6	0,8	0,6	0,5	0,4	0,6	0,9	5,1	4,3	9,4
	2	0,5	0,3	0,4	0,7	0,5	0,6	0,2	0,2	0,1	0,4	0,4	0,4	2,8	2,0	4,7
9	1	4,3	3,7	3,4	2,9	2,2	1,2	0,7	1,0	2,9	4,0	4,5	4,2	23,0	12,0	35,0
	2	3,8	3,5	3,4	2,4	1,8	0,6	0,2	0,9	2,1	3,3	2,9	3,7	19,8	8,8	28,6
9a	1	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0	0,9	0,6	0,4	0,3	2,6	4,8	7,4
	2	0,3	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,6	1,1	1,0	1,0	0,4	0,4	2,8	4,9	7,7
9b	1	1,5	1,7	2,1	2,0	1,8	1,3	1,1	1,6	2,6	1,6	1,4	1,5	10,2	10,0	20,2
	2	1,7	1,6	1,8	2,0	1,9	1,1	0,5	1,3	2,3	2,0	1,9	2,0	10,9	9,1	20,0
10	1	2,7	2,1	2,8	3,2	3,1	3,1	3,1	2,6	2,4	2,8	2,8	2,7	16,3	17,1	33,4
	2	2,3	2,4	2,9	3,3	2,8	3,0	2,2	1,9	2,2	2,5	2,7	2,5	16,0	14,7	30,8
11	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6
12	1	1,4	0,9	1,4	1,3	2,3	1,6	1,5	1,6	2,3	2,1	1,7	1,3	8,0	11,4	19,4
	2	3,0	2,5	2,6	3,1	2,5	1,9	1,8	2,0	2,6	3,2	3,1	2,9	17,1	14,0	31,1
13	1	0,5	0,4	0,4	1,1	2,3	2,4	3,3	3,0	1,8	1,0	0,7	0,6	3,7	13,8	17,5
	2	1,3	1,0	1,7	2,2	3,7	3,6	3,5	3,2	2,4	1,4	0,7	1,0	7,9	17,8	25,8
14	1	0,4	0,4	0,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,7	0,6	2,7	0,3	3,0
	2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	1,0	0,5	1,5
15	1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Примечание. XII - холодное полугодие (ноябрь-апрель), ТП - теплое полугодие (май-октябрь).

В текущем периоде заметно уменьшилась повторяемость группы типов, обуславливающих вторжение холодных воздушных масс с северо-запада и севера. Если в базовом периоде северо-западное холодное вторжение наблюдалась с частотой 18,6 случаев в год, в настоящее время этот показатель уменьшился до 8,4 случаев, а повторяемость северного холодного вторжения уменьшилась от 8,3 до 2,3 случаев.

Таблица 2

Многолетние средние значения повторяемости (%) типов синоптических процессов в различные периоды (1 – 1961-1990 гг., 2 – 1991-2020 гг.)

Table 2

Long-term average values of frequency (%) of types of synoptic processes in different periods (1 - 1961-1990, 2 - 1991-2020)

Тип	Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII	ТП	Год
1	1	12,3	14,8	19,7	18,0	8,2	0,8	0,0	0,0	0,8	6,6	9,0	9,8	83,6	16,4	100,0
	2	11,7	17,5	20,6	13,2	7,4	0,9	0,0	0,3	1,5	3,1	10,2	13,5	86,8	13,2	100,0
2	1	17,0	14,8	20,5	12,5	6,8	1,1	0,0	0,0	0,0	4,5	8,0	14,8	87,5	12,5	100,0
	2	21,7	16,7	19,5	13,1	6,8	0,9	0,0	0,0	0,0	2,3	11,3	7,7	90,0	10,0	100,0
3	1	16,7	16,7	16,7	11,1	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	11,1	16,7	88,9	11,1	100,0
	2	30,6	11,1	16,7	13,9	2,8	0,0	2,8	0,0	0,0	5,6	8,3	8,3	88,9	11,1	100,0
4	1	16,0	20,0	12,0	4,0	8,0	4,0	0,0	0,0	0,0	4,0	12,0	20,0	84,0	16,0	100,0
	2	10,0	10,0	20,0	0,0	0,0	0,0	10,0	20,0	20,0	10,0	0,0	0,0	40,0	60,0	100,0
5	1	10,8	7,0	6,5	6,5	7,0	7,5	7,5	10,2	9,7	11,3	8,6	7,5	46,8	53,2	100,0
	2	7,9	7,1	6,3	5,2	7,5	6,0	7,9	9,9	8,7	13,1	10,7	9,5	46,8	53,2	100,0
6	1	4,8	4,8	3,6	6,0	13,3	12,0	12,0	15,7	10,8	8,4	4,8	3,6	27,7	72,3	100,0
	2	7,2	2,9	13,0	8,7	7,2	10,1	11,6	4,3	13,0	5,8	11,6	4,3	47,8	52,2	100,0
7	1	15,2	12,1	17,2	12,1	7,1	3,0	1,0	1,0	1,0	8,1	12,1	10,1	78,8	21,2	100,0
	2	10,3	15,9	19,8	12,7	4,0	0,0	1,6	0,0	1,6	6,3	11,1	16,7	86,5	13,5	100,0
8	1	6,4	6,4	12,8	12,8	14,9	6,4	8,5	6,4	5,3	4,3	6,4	9,6	54,3	45,7	100,0
	2	11,3	7,0	9,2	14,8	10,6	12,0	3,5	4,9	2,1	8,5	7,7	8,5	58,5	41,5	100,0
9	1	12,3	10,6	9,7	8,3	6,3	3,4	2,0	2,9	8,3	11,4	12,9	12,0	65,7	34,3	100,0
	2	13,3	12,3	11,8	8,5	6,3	2,0	0,8	3,0	7,2	11,4	10,3	13,1	69,2	30,8	100,0
9a	1	5,4	5,4	6,8	8,1	9,5	10,8	10,8	13,5	12,2	8,1	5,4	4,1	35,1	64,9	100,0
	2	3,9	6,9	6,5	8,7	9,1	6,5	7,4	14,7	13,4	12,6	4,8	5,6	36,4	63,6	100,0
9b	1	7,4	8,4	10,4	9,9	8,9	6,4	5,4	7,9	12,9	7,9	6,9	7,4	50,5	49,5	100,0
	2	8,5	7,8	8,8	9,8	9,5	5,3	2,5	6,5	11,3	10,2	9,7	10,0	54,7	45,3	100,0
10	1	8,1	6,3	8,4	9,6	9,3	9,3	9,3	7,8	7,2	8,4	8,4	8,1	48,8	51,2	100,0
	2	7,5	7,7	9,4	10,6	9,2	9,9	7,3	6,2	7,2	8,2	8,8	8,1	52,1	47,9	100,0
11	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5	58,8	17,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	63,2	31,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
12	1	7,2	4,6	7,2	6,7	11,9	8,2	7,7	8,2	11,9	10,8	8,8	6,7	41,2	58,8	100,0
	2	9,5	7,9	8,3	10,0	8,1	6,0	5,7	6,3	8,5	10,3	10,0	9,4	55,1	44,9	100,0
13	1	2,9	2,3	2,3	6,3	13,1	13,7	18,9	17,1	10,3	5,7	4,0	3,4	21,1	78,9	100,0
	2	5,0	3,8	6,7	8,5	14,2	14,1	13,6	12,3	9,4	5,6	2,8	3,9	30,8	69,2	100,0
14	1	13,3	13,3	6,7	13,3	3,3	0,0	0,0	3,3	3,3	0,0	23,3	20,0	90,0	10,0	100,0
	2	13,6	6,8	11,4	9,1	6,8	4,5	2,3	0,0	13,6	6,8	6,8	18,2	65,9	34,1	100,0
15	1	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	2	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0

Примечание. XII - холодное полугодие (ноябрь-апрель), ТП - теплое полугодие (май-октябрь).

Существенное уменьшение повторяемости свойственно и для таких типов процессов, как широкий вынос тёплого воздуха, волновая деятельность на холодном фронте, малоподвижный циклон над севером Средней Азии и западный циклон. А ныряющий циклон наблюдался в текущем периоде только один раз.

Таким образом, имеется определенная изменчивость многолетних средних значений повторяемости типов синоптических процессов от периода к периоду, о чем свидетельствуют данные табл. 3. Как видно из этой таблицы, повторяемости синоптических процессов, рассчитанные за периоды 1954-1978 и 1961-1990 гг. отличаются незначительно. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что в эти периоды времени основные циркуляционные закономерности формирования климата Средней Азии сохранялись. Согласно нашим расчетам, в период 1991-2020 гг. прослеживаются существенные изменения повторяемости типов синоптических процессов относительно климатического базового периода, которые отражаются в вероятности их появления.

Таблица 3

Многолетние средние значения повторяемости типов синоптических процессов в различные периоды (число случаев)

Table 3

Long-term average values of frequency of synoptic process types in different periods (number of cases)

Период	Типы синоптических процессов																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9a	9б	10	11	12	13	14	15
1935-1944 В.А. Бугаев и др.	21,7	13,3	8,6	4,5	44,3	25,4	12,3	3,9	64,7	6,4	-	46,7	12,0	-	-	-	-
1944-1962 Э.С. Ильинова и др.	19,2	5,5	2,6	0,7	25,5	16,4	12,8	5,0	38,3	13,0	38,9	33,3	2,0	9,6	5,9	-	-
1944-1978 Т.А. Войнова и др.	17,1	8,1	1,3	2,3	26,8	15,4	17,0	8,1	37,9	10,5	28,9	35,4	1,1	11,9	9,0	-	-
1945-1984 С.И. Иногамова	15,0	6,8	2,1	2,2	22,8	12,6	11,7	7,6	36,0	9,5	28,5	33,2	1,6	13,6	11,3	1,9	0,05
1954-1978 Т.А. Войнова и др.	13,4	7,2	1,9	2,6	22,7	12,3	12,2	8,3	34,4	6,1	19,9	31,5	1,5	12,2	10,1	1,3	0,1
1961-1990 Ш.Т. Мухтаров	12,2	8,8	1,8	2,5	18,6	8,3	9,9	9,4	35,0	7,4	20,2	33,4	1,7	19,4	17,5	3,0	0,2
1991-2020 Б.М. Холматжанов	10,8	7,4	1,2	0,3	8,4	2,3	4,2	4,7	28,6	7,7	20,0	30,8	0,6	31,1	25,8	1,5	0,0

Проведем анализ изменения вероятностей появления типов синоптических процессов за два указанных выше периода (рис. 1-3). При анализе обращалось внимание на синоптические процессы, которые имели наибольшую вероятность (более 8-10%). В весенний сезон базового климатического периода самые высокие вероятности появления (более 8%) имели южнокаспийский циклон, юго-западная и южная периферии антициклона, западное вторжение и малоградиентное поле повышенного давления (рис. 1а). Анализ вероятностей появления типов процессов в текущем климатическом периоде показывает, что тогда как вероятности юго-западной периферии антициклона и западного вторжения практически не изменились, вероятности малоградиентных полей повышенного и пониженного давления сильно увеличились (от 8,6% до 15,3% и 6,5% до 14,5%, соответственно). Вместе с тем, вероятности южнокаспийского циклона, северо-западного холодного вторжения, северного холодного вторжения, волновой деятельности

на холодном фронте и малоподвижного циклона над Средней Азией заметно уменьшились.

Летом в базовом периоде преобладающими (вероятность появления более 10%) были северо-западное холодное вторжение, западное вторжение, малоградиентные поля повышенного и пониженного давления (рис. 1б). Как и в весеннем сезоне, вероятность западного вторжения осталась без изменения. Вероятности малоградиентных полей повышенного и пониженного давления сильно увеличились, тогда как вероятности северо-западного и северного холодных вторжений заметно уменьшились.

В осенний сезон изменения вероятностей появления процессов не столь велики (рис. 1в). В этот сезон в базовом периоде преобладающими были северо-западное холодное вторжение, юго-западная и южная периферии антициклона, западное вторжение и малоградиентное поле повышенного давления. В текущем климатическом периоде вероятность западных вторжений осталась без изменений. Если вероятности южной периферии антициклона, малоградиентных полей повышенного и пониженного давлений увеличились, то вероятности северо-западного и северного холодных вторжений, волновой деятельности на холодном фронте и юго-западной периферии антициклона уменьшились.

Самые существенные изменения произошли в зимний сезон (рис. 1г). В базовом климатическом периоде определяющими являлись юго-западная периферия антициклона и западное вторжение. В текущем периоде их вероятности не изменились. Произошло сильное увеличение вероятности малоградиентного поля повышенного давления и заметное увеличение вероятности малоградиентного поля пониженного давления. Заметно уменьшилась вероятность северо-западного холодного вторжения.

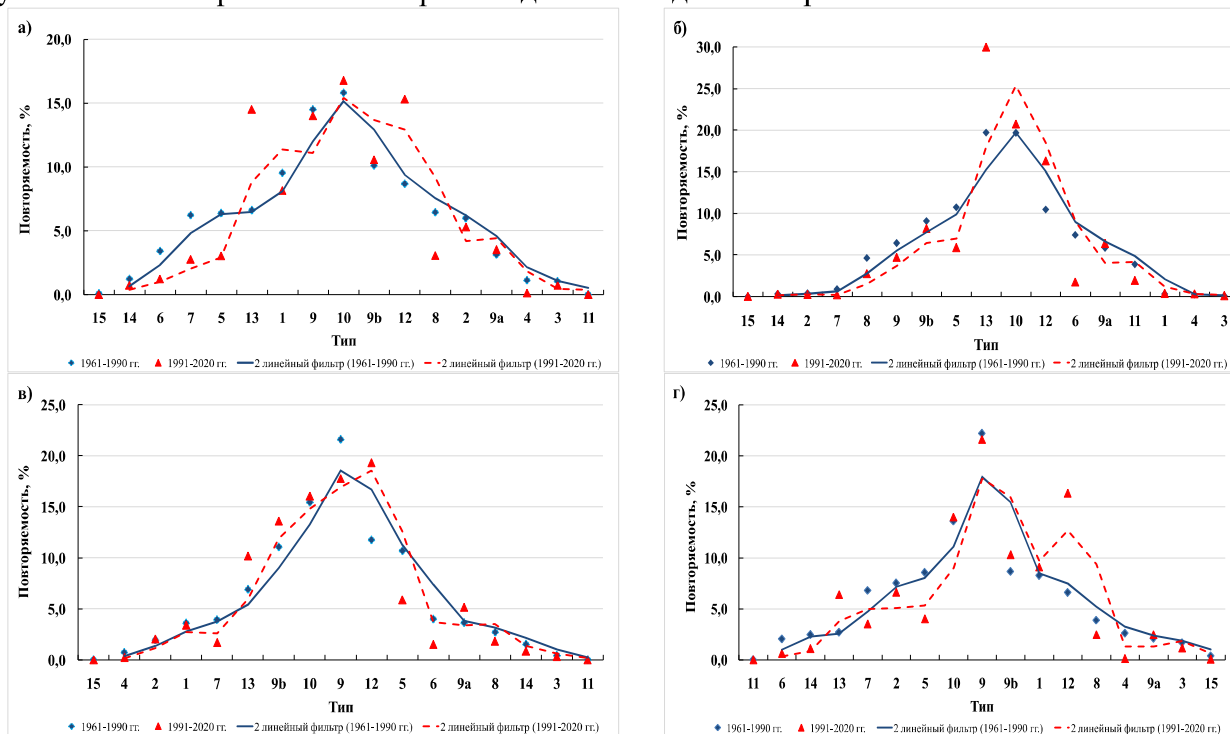


Рис. 1. Распределение вероятностей появления типов синоптических процессов Средней Азии в периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.

а) весна, б) лето, в) осень, г) зима

Fig. 1. Distribution of probabilities of occurrence of types of synoptic processes in Middle Asia in the periods of 1961-1990 and 1991-2020

a) spring, b) summer, c) autumn, d) winter

Вышеизложенные сезонные изменения вероятностей появления синоптических процессов отобразились в разрезе полугодий следующим образом. В базовом климатическом периоде в холодное полугодие основными были юго-западная периферия антициклона и западное вторжение, а в тёплое полугодие – северо-западное холодное вторжение, юго-западная и южная периферии антициклона, западное вторжение, малоградиентные поля повышенного и пониженного давления (табл. 4, рис. 2). В холодное полугодие вероятность юго-западной периферии антициклона осталась почти без изменения, а западное вторжение стало наблюдаться немного чаще. Вместе с тем, вероятности южной периферии антициклона, малоградиентных полей повышенного и пониженного давления (особенно повышенного давления) увеличились, а северо-западного холодного вторжения и волновой деятельности на холодном фронте – заметно уменьшились.

В тёплое полугодие вероятность появления западного вторжения осталась без изменения. Сильно увеличились случаи с малоградиентным полем повышенного и пониженного давления. Заметно уменьшились вероятности северо-западного и северного холодных вторжений, а также юго-западной периферии антициклона. В уменьшении вероятности появления юго-западной периферии антициклона решающую роль сыграл летний сезон.

В годовом распределении вероятности появления типов синоптических процессов в базовом климатическом периоде главными являлись юго-западная периферия антициклона и западное вторжение (16,6 и 16,0%, соответственно) (табл. 4, рис. 3). Следующие позиции занимали северо-западное холодное вторжение, южная периферия антициклона, малоградиентные поля повышенного и пониженного давления (9,0; 9,7; 8,6 и 9,3%, соответственно).

В текущем периоде вероятность юго-западной периферии антициклона немного уменьшилась, а западного вторжения – несущественно увеличилась. Значительное увеличение произошло в вероятностях появления малоградиентных полей повышенного и пониженного давления. Небольшое увеличение наблюдается и в вероятностях юго-восточной и южной периферий антициклона. Вероятности северо-западного и северного холодных вторжений, волновой деятельности на холодном фронте и малоподвижного циклона над Средней Азией заметно уменьшились.

Рассмотрим вышеизложенные изменения вероятностей появления типов синоптических процессов в соответствии с формами циркуляции атмосферы северного полушария по типизации Вангенгейма-Гирса [Угрюмов, 2006]. Данный подход дает возможность выявить главные особенности изменения климата среднеазиатского региона с циркуляционной точки зрения. Форма меридиональной циркуляции была разделана на две группы: холодный (C_x) и тёплый (C_T) типы (табл. 5).

Вероятность появления типов, которые обуславливают адвекцию холода в Среднюю Азию, в текущем климатическом периоде уменьшилась около трех раз по сравнению с базовым периодом во всех сезонах (от 22,2 до 8,0% за год). Несколько уменьшилась и вероятность по тёплому типу меридиональной формы, которая обуславливает адвекцию тропического воздуха в регион. Это связано с уменьшением повторяемости южных циклонов. Вероятность восточной формы циркуляции (E) изменилась в пределах 3,7% в текущем периоде по сравнению с базовым. Значительно увеличилась вероятность зональной циркуляции (W) во все сезоны года. Особенно это выражено для летнего сезона (до 24,9%), в среднем за год это увеличение составило 18,8%.

Таблица 4

Вероятность появления (%) типов синоптических процессов (независимо от их продолжительности) в различные периоды (1 – 1961-1990 гг., 2 – 1991-2020 гг.)

Table 4

The probability of occurrence (%) of types of synoptic processes (regardless of their duration) in different periods (1 - 1961-1990, 2 - 1991-2020)

Тип	Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII	ТП	Год
1	1	7,8	10,3	11,9	11,3	5,4	0,9	0,0	0,0	0,4	4,4	6,0	6,7	8,9	2,1	5,8
	2	7,2	11,5	11,7	7,9	4,9	0,8	0,0	0,3	1,2	2,1	6,9	8,6	9,0	1,8	5,8
2	1	7,6	7,8	8,8	5,9	3,2	0,9	0,0	0,2	0,0	2,1	3,7	7,2	6,7	1,2	4,2
	2	9,1	7,5	7,5	5,3	3,1	0,5	0,0	0,0	0,0	1,0	5,2	3,3	6,4	0,9	4,0
3	1	1,6	1,9	1,5	1,2	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,4	0,9	1,5	1,3	0,3	0,8
	2	2,1	0,8	1,1	0,9	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,6	0,6	1,0	0,2	0,6
4	1	1,9	3,1	1,6	0,5	1,2	0,5	0,0	0,2	0,0	0,6	1,6	2,8	1,8	0,5	1,2
	2	0,2	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	0,5	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2
5	1	10,3	7,6	6,0	6,2	6,9	9,9	9,7	12,6	11,2	12,0	8,9	7,8	7,4	10,7	9,0
	2	3,8	3,6	2,8	2,4	3,9	4,1	6,4	7,1	5,1	6,9	5,7	4,7	3,8	5,5	4,5
6	1	1,9	2,5	1,6	2,8	5,8	6,9	6,6	8,7	5,5	4,2	2,3	1,7	2,7	5,6	4,0
	2	0,9	0,4	1,6	1,1	1,0	1,9	2,5	0,8	2,1	0,8	1,7	0,6	1,1	1,5	1,2
7	1	7,6	7,2	8,5	6,4	3,7	1,9	0,5	0,7	0,8	4,6	6,4	5,6	6,5	2,6	4,7
	2	2,5	4,0	4,4	2,9	1,0	0,0	0,6	0,0	0,5	1,7	2,9	4,1	3,5	0,7	2,3
8	1	3,1	3,7	6,0	6,1	7,2	4,2	5,6	4,1	2,9	2,1	3,1	4,8	5,2	3,6	4,4
	2	3,0	2,0	2,3	3,8	3,1	4,6	1,6	2,0	0,7	2,5	2,3	2,4	2,7	2,4	2,6
9	1	22,1	21,4	16,8	15,2	11,5	8,3	4,7	6,3	17,5	22,7	24,7	23,2	18,2	14,7	16,6
	2	21,6	21,2	17,7	13,4	11,0	4,6	2,2	7,3	14,5	20,4	18,4	22,0	19,0	10,8	15,4
9a	1	2,1	2,5	2,6	3,1	3,7	5,8	5,2	6,5	5,3	3,4	2,2	1,7	2,6	4,6	3,5
	2	1,7	3,2	2,6	3,7	4,3	4,1	5,4	9,6	7,2	6,0	2,3	2,5	2,7	6,0	4,2
9b	1	7,6	9,9	10,4	10,2	9,7	9,0	7,7	10,5	16,1	9,3	7,8	8,5	9,4	10,1	9,7
	2	9,6	9,5	9,3	10,8	11,6	8,7	4,8	11,0	15,9	12,7	12,2	11,8	10,5	11,2	10,8
10	1	13,8	12,2	14,1	16,8	16,5	21,3	20,8	17,0	14,8	16,2	15,4	14,8	14,7	17,4	16,0
	2	13,0	14,3	15,2	17,9	17,3	24,8	21,3	16,1	15,4	15,8	17,0	14,7	15,4	18,2	16,6
11	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	6,8	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,6
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	3,8	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,3
12	1	7,4	5,2	7,0	6,7	12,3	10,9	10,0	10,5	14,2	12,0	9,1	7,2	7,7	11,1	9,3
	2	16,8	14,9	13,5	17,0	15,5	15,3	16,9	16,7	18,5	20,0	19,5	17,3	16,4	17,2	16,8
13	1	2,4	2,5	2,1	5,7	12,0	16,8	22,6	19,8	10,8	5,7	4,2	3,2	4,7	12,7	8,6
	2	7,4	5,9	9,1	12,1	22,4	29,7	33,4	26,8	17,1	8,9	4,6	5,9	7,6	22,0	13,9
14	1	2,0	2,0	1,1	2,0	0,5	0,3	0,0	0,6	0,6	0,2	3,8	3,4	1,8	1,0	1,4
	2	1,1	0,6	0,9	0,7	0,6	0,5	0,3	0,0	1,4	0,6	0,6	1,6	0,9	0,6	0,8
15	1	0,9	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1
	2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Всего	1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Примечание. XII - холодное полугодие (ноябрь-апрель), ТП - теплое полугодие (май-октябрь).

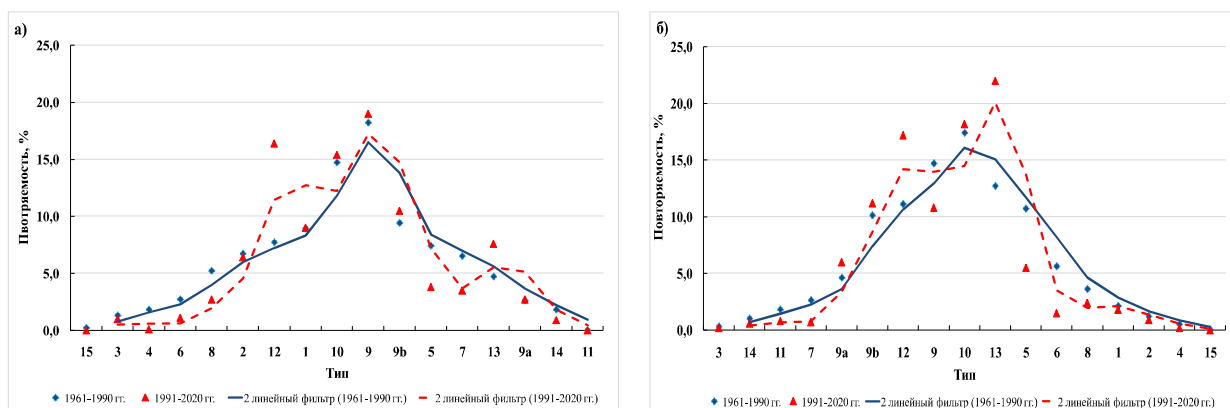


Рис. 2. Распределение вероятностей появления типов синоптических процессов Средней Азии в периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.
a) холодное полугодие, б) тёплое полугодие

Fig. 2. Distribution of probabilities of occurrence of types of synoptic processes in Middle Asia in the periods of 1961-1990 and 1991-2020
a) cold season, b) warm season

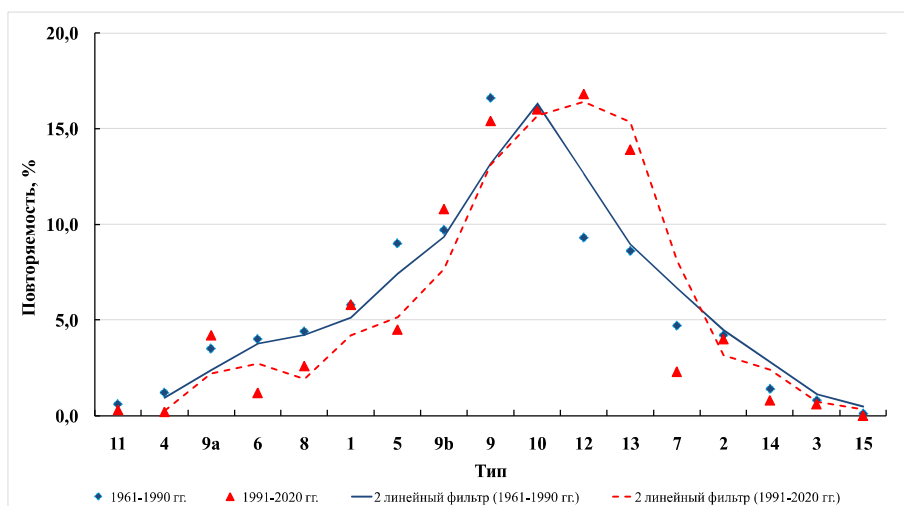


Рис. 3. Среднегодовое распределение вероятностей появления типов синоптических процессов Средней Азии в периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг.

Fig. 3. Average annual distribution of probabilities for the occurrence of types of synoptic processes in Middle Asia in the periods of 1961-1990 and 1991-2020

Выводы. Во временных пределах климатического периода 1991-2020 гг. повторяемость холодных вторжений с северо-запада и севера, приводящие к существенному понижению температуры воздуха в регионе, заметно уменьшилась во все сезоны года. Увеличилась повторяемость малоградиентных полей повышенного и пониженного давлений, которые обуславливают трансформацию приходящих воздушных масс в регион в местные воздушные массы. Независимые исследования, выполненные российскими и казахскими учеными, также указывают на то, что в текущем климатическом периоде стала преобладающей форма циркуляции W [Мещерская и др., 2013; Сальников и др., 2011]. Таким образом, в настоящее время над Среднеазиатским регионом происходит ослабление меридиональной формы циркуляции и усиление влияния западно-восточного переноса.

Таблица 5

Повторяемость типов синоптических процессов, соответствующих различным формам общей циркуляции атмосферы северного полушария, %

Table 5

Repeatability of types of synoptic processes corresponding to various forms of the general circulation of the atmosphere of the northern hemisphere, %

Сезон	Период, гг.	C_x	C_T	E	W
Весна	1961-1990	22,4	17,6	27,9	32,0
	1991-2020	11,0	12,7	25,8	50,6
Лето	1961-1990	23,6	0,6	21,4	54,1
	1991-2020	9,2	0,4	11,4	79,0
Осень	1961-1990	21,2	7,3	36,1	35,2
	1991-2020	4,4	12,2	32,2	51,2
Зима	1961-1990	21,6	19,9	32,9	25,6
	1991-2020	12,5	14,6	35,2	37,7
ХП	1961-1990	22,0	18,7	30,2	28,9
	1991-2020	12,5	14,3	32,3	40,9
ТП	1961-1990	22,5	4,1	29,4	44,0
	1991-2020	9,9	1,8	20,0	68,3
Год	1961-1990	22,2	12,0	29,8	35,9
	1991-2020	8,0	11,2	26,1	54,7

Примечание: C_x – меридиональная циркуляция по холодному типу (типы 5,6,7,8,15), C_T – меридиональная циркуляция по тёплому типу (типы 1,2,3,4), E – восточная форма циркуляции (типы 9,9а,9б), W – западная форма циркуляции (типы 10,11,12,13,14).

Вклад авторов. **Б.М. Холматжанов:** Анализ, проверка, проведение расчетов, руководство. **Э.И. Абдулахатов:** Сбор, обработка данных, систематизация материала, анализ, написание текста. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Войнова Т.А., Григорьева Т.С., Инагамова С.И. Статистические характеристики типов синоптических процессов в Средней Азии // Тр. Всесоюз. симпозиума по исследованию взаимодействия мезо- и макромасштабных процессов в атмосфере и применению статистических методов в метеорологии. – М.: Гидрометеоздат, 1985. – С. 158-160.

Войнова Т.А., Инагамова С.И., Билялова Л.Р., Григорьева Т.С. Статистические характеристики типов синоптических процессов Средней Азии // Тр. САНИИ. – 1983. – Вып. 95(176). – С. 3-11.

Ильинова Э.С., Турсунов А.Ю., Эмм З.Г. Статистико-стохастическая характеристика синоптических положений над Средней Азией // Тр. САНИГМИ. – 1965. – Вып. 20 (35). – С. 201-243.

Инагамова С.И., Мухтаров Т.М., Мухтаров Ш.Т. Особенности синоптических процессов Средней Азии. Ташкент: САНИГМИ, 2002. – 486 с.

Иногамова С.И., Мухтаров Т.М. О колебаниях повторяемости и продолжительности типов региональной циркуляции Средней Азии // Труды НИГМИ. – 2007. – Вып. 9(254). – С. 115-135.

Иногамова С.И. Сезонные различия повторяемости и продолжительности синоптических процессов Средней Азии // Труды НИГМИ. – 2009а. – Вып. 14(259). – С. 109-156.

Иногамова С.И. Современные тенденции изменений повторяемости и суммарной продолжительности синоптических процессов Средней Азии, их влияние на метеорологические явления // Труды НИГМИ. – 2009б. – Вып. 14(259). – С. 25-83.

Календарь типов синоптических процессов над Средней Азией. Вып. 3. /Под ред. С.И. Иногамовой. -Ташкент: НИГМИ, 1993. – 56 с.

Календарь типов синоптических процессов над Средней Азией. Вып. 4. /Под ред. С.И. Иногамовой. -Ташкент: НИГМИ, 2013. – 82 с.

Ким И.С. Об изменениях повторяемости типов синоптических процессов Средней Азии // Метеорология и гидрология. – М.: 2001. – №3. – С. 45-56.

Меццарская А.В., Кононова Н.К., Иванов В.В., Голод М.П. Сравнение двух типизаций циркуляционных процессов // Труды ГГО. – 2013. – Вып. 568. – С. 137-155.

Молоснова Т.И., Илина Э.Л. Климатические колебания общей циркуляции атмосферы и типов синоптических процессов // Тр. САНИГМИ. – 1991. – Вып. 141 (222). – С. 3-11.

Очерки развития гидрометеорологии в Республике Узбекистан /Под ред. В.Е. Чуба, С.И. Иногамовой. – Ташкент: НИГМИ, 2011. – 330 с.

Петров Ю.В., Холматжанов Б.М., Мавлонов Д.М. Влияние изменения общей циркуляции северного полушария на изменения повторяемости типов синоптических положений над Средней Азией // Ўзбекистон География жамяти ахборотномаси. – Тошкент, 2017. – 50-жилд. – Б. 188-193.

Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. II. Вып. 3. Средняя Азия / Под ред. С.И. Иногамовой, Т.А. Войновой, Э.С. Казарянц. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 322 с.

Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Молдахметов М.М., Махмудова Л.К. Климатические колебания общей циркуляции атмосферы, осадков и речного стока над территорией Казахстана. 2011. Доступно в <https://articlekz.com/article/8558>

Синоптические процессы Средней Азии / Бугаев В.А., Джорджио В.А., Козик Е.М., Петросянц М.А., Пшеничный А.Я., Романов Н.Н., Чернышева О.Н. / Под ред. Т.А. Сарымсакова, В.А. Бугаева, В.А. Джорджио, М.А. Петросянца, О.Н. Чернышевой. – Ташкент: АН Уз, 1957. – 477 с.

Субботина О.И., Чевычалова Т.М. Особенности многолетних изменений атмосферной циркуляции на территории Средней Азии // Тр. САНИГМИ. - 1991. – Вып. 141 (222). – С. 12-21.

Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Учебное пособие. – С-Пб.: РГГМУ, 2006. – 84 с.

Alexander M.A., Bhatt U.S., Walsh J.E., Timlin M.S., Miller J.S., Scott J.D. The atmospheric response to realistic Arctic sea ice anomalies in an AGCM during winter // Journal of climate, 2004. 17(5), 890–905.

Mamadjanova G., Wild S., Walz M.A., Leckebusch G.C. The role of synoptic processes in mudflow formation in the piedmont areas of Uzbekistan // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2018.18:2893–2919.

Martynova Y., Krupchatnikov V.N. Peculiarities of the Dynamics of the general atmospheric circulation in conditions of the global climate change // Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics, 2015. 51(3):299-310.

Screen J.A., Bracegirdle T.J., Simmonds I. Polar Climate Change as Manifest in Atmospheric Circulation // Current Climate Change Reports, 2018. 4:383–395

Shepherd T.G. Atmospheric circulation as a source of uncertainty in climate change projections // Nat. Geosci., 2014;7:703–8.

Sidorenkov N.S., Orlov I.A. Atmospheric Circulation Epochs and Climate Changes // Russian Meteorology and Hydrology, 2008. 33(9):553-559.

Voigt A., Albern N., Ceppi P., Grise K., Li Y., Medeiros B. Clouds, radiation, and atmospheric circulation in the present-day climate and under climate change // WIREs Clim Change, 2021. 12:e694.

Yang Y., Zhou Y., Li K., Wang H., Ren L., Zeng L., Li H., Wang P., Li B., Liao H. Atmospheric Circulation Patterns Conducive to Severe Haze in Eastern China Have Shifted Under Climate Change // Geophysical Research Letters, 2021. 48, e2021GL095011.

Ye K., Jung T. How strong is influence of the tropics and midlatitudes on the Arctic atmospheric circulation and climate change? // Geophysical Research Letters, 2019. 46, 4942–4952.

Zhu L., Lü X., Wang J., Peng P., Kasper T., Daut G., Haberzett T., Frenzel P., Li Q., Yang R., Schwalb A., Mäusbacher R. Climate change on the Tibetan Plateau in response to shifting atmospheric circulation since the LGM // Scientific Reports, 2015. 5(1):13318

ЎРТА ОСИЁ СИНОПТИК ЖАРАЁНЛАРИ ТАКРОРЛАНУВЧАНЛИГИНИНГ ЎЗГАРИШИ

Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,2}, Э.И. АБДУЛАХАТОВ²

¹ Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, b.xolmatjanov@nuu.uz

² Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, erik_sen@mail.ru

Аннотация. Жорий иқлимий даврда Ўрта Осиё синоптик жараёнлари такрорланувчанлигининг базавий иқлимий даврдагига нисбатан ўзгаришлари тадқиқ этилган. Минтақада ҳаво ҳароратининг сезиларли пасайишига олиб келувчи совуқ ҳавонинг шимоли-шарқ ва шимолдан кириб келишларининг жорий иқлимий даврдаги такрорланувчанлиги йилнинг барча мавсумларида сезиларли камайганлиги аниқланди. Минтақага кириб келувчи ҳаво массаларининг маҳаллий ҳаво массаларига трансформациясини белгиловчи кичик градиентли юқори ва паст босимли майдонларнинг такрорланувчанлиги эса ортган.

Калит сўзлар: атмосфера циркуляцияси, синоптик жараён, такрорланувчанлик, иқлимий давр, Ўрта Осиё.

CHANGES OF MIDDLE ASIAN SYNOPTIC PROCESSES REPEATENESS

В.М. KHOLMATJANOV^{1,2}, Е.И. ABDULAKHATOV²

¹ National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, b.xolmatjanov@nuu.uz

² Hydrometeorological Research Institute, erik_sen@mail.ru

Annotation. The change in the frequency of Middle Asian synoptic processes in the current climatic period in comparison with the basic climatic period has been studied. It is shown that in the current climatic period, the frequency of cold intrusions from the northwest and north, leading to a significant decrease in air temperature in the region, has noticeably decreased in all seasons of the year. The frequency of low-gradient fields of high and low pressures has increased, which cause the transformation of incoming air masses into the region into local air masses.

Keywords: atmospheric circulation, synoptic processes, frequency, climatic period, Middle Asia.

REFERENCES

Voynova T.A., Grigor'yeva T.S., Inagamova S.I. Statisticheskiye harakteristiki tipov sinopticheskikh protsessov v Sredney Azii [Statistical characteristics of the types of synoptic processes in Middle Asia] // Tr. Vsesoyuz. simpoziuma po issledovaniyu effektivov mezo- i makromasshtabnykh protsessov v atmosfere i primeneniye eksperimentalnykh metodov v meteorologii. – M.: Gidrometeoizdat, 1985. – S. 158-160. (in Russian)

Voynova T.A., Inagamova S.I., Bilyalova L.R., Grigor'yeva T.S. Statisticheskiye harakteristiki sinopticheskikh tipov protsessov Sredney Azii [Statistical characteristics of the types of synoptic processes in Middle Asia] // Tr. SANII. – 1983. – Vyp. 95 (176). – S. 3-11. (in Russian)

Ilinova E.S., Tursunov A.Yu., Emm Z.G. Statistiko-stokhasticheskaya harakteristika sinopticheskikh protsessov nad Sredney Aziyey [Statistical and stochastic characteristics of synoptic processes over Middle Asia] // Tr. SANIGMI. – 1965. – Vyp. 20 (35). – S. 201-243. (in Russian)

Inagamova S.I., Muhtarov T.M., Muhtarov Sh.T. Osobennosti sinopticheskikh protsessov Sredney Azii [Features of synoptic processes of Middle Asia]. Tashkent: SANIGMI, 2002. – 486 s. (in Russian)

Inogamova S.I., Muhtarov T.M. O kolebaniyah povtoryayemosti i prodoljitelnosti tipov regionalnoy tsirkulyatsii Sredney Azii [On fluctuations in the frequency and duration of types of regional circulation in Middle Asia] // Trudy NIGMI. – 2007. – Vyp. 9(254). – S. 115-135. (in Russian)

Inogamova S.I. Sezonnnye razlichiya povtoryayemosti i prodoljitelnosti sinopticheskikh protsessov Sredney Azii [Seasonal differences in frequency and duration of synoptic processes in Middle Asia] // Trudy NIGMI. – 2009a. – Vyp. 14(259). – S. 109-156. (in Russian)

Inogamova S.I. Sovremenniye nablyudeniya za izmeneniyami povtoryayemosti i summarnoy prodolzhitelnosti sinopticheskikh protsessov Sredney Azii na meteorologicheskiye yavleniya [Modern tendencies of changes in the frequency and total duration of synoptic processes in Middle Asia, their influence on meteorological phenomena] // Trudy NIGMI. – 2009b. – Vyp. 14(259). – S. 25-83. (in Russian)

Kalendar tipov sinopticheskikh protsessov nad Sredney Aziyey [Calendar of types of synoptic processes over Middle Asia]. Vyp. 3. /Pod red. S.I. Inagamovoy. – Tashkent: NIGMI, 1993. – 56 s. (in Russian)

Kalendar tipov sinopticheskikh protsessov nad Sredney Aziyey [Calendar of types of synoptic processes over Middle Asia]. Vyp. 4. /Pod red. S.I. Inagamovoy. – Tashkent: NIGMI, 2013. – 82 s. (in Russian)

Kim I.S. Ob izmeneniyah povtoryayemosti tipov sinopticheskikh protsessov Sredney Azii [On changes in the frequency of types of synoptic processes in Middle Asia] // Meteorologiya i gidrologiya. – M.: 2001. – №3. – S. 45-56. (in Russian)

Meshcherskaya A.V., Kononova N.K., Ivanov V.V., Golod M.P. Sravneniye dvukh tipizatsiy tsirkulyatsionnykh protsessov [Comparison of two typifications of circulation processes] // Trudy GGO. – 2013. – Vyp. 568. – S. 137-155. (in Russian)

Molosnova T.I., Ilinyak E.L. Klimaticheskiye kolebaniya obshey tsirkulyatsii atmosfery i tipov sinopticheskikh protsessov [Climatic fluctuations in the general circulation of the atmosphere and types of synoptic processes] // Tr. SANIGMI. – 1991. – Vyp. 141 (222). – S. 3-11. (in Russian)

Ocherki razvitiya gidrometeorologii v Respublike Uzbekistan [Essays on the development of hydrometeorology in the Republic of Uzbekistan] / Pod red. V.Ye. Chuba, S.I. Inagamovoy. – Tashkent: NIGMI, 2011. – 330 s. (in Russian)

Petrov Yu.V., Kholmatjanov B.M., Mavlonov D.M. Vliyaniye izmeneniya obshey tsirkulyatsii severnogo polushariya na izmeneniye povtoryayemosti tipov sinopticheskikh protsessov nad Sredney Aziyey [Influence of changes in the general circulation of the northern hemisphere on changes in the frequency of synoptic processes over Middle Asia] // Ozbekiston Geografiya jamiyati ahborotnomasi. – Toshkent, 2017. – 50-zhild. – B. 188-193. (in Russian)

Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozam pogody [A guide to short range weather forecasts]. Ch. II. Vyp. 3. Srednyaya Aziya / Pod red. S.I. Inagamovoy, T.A. Voynovoy, E.S. Kazaryants. – L.: Gidrometeoizdat, 1986. – 322 s. (in Russian)

Salnikov V.G., Turulina G.K., Polyakova S.Ye., Moldakhmetov M.M., Makhmudova L.K. Klimaticheskiye usloviya obshey tsirkulyatsii atmosfery, temperaturi i rechnogo stoka nad territoriyey Kazakhstana [Climatic fluctuations in the general circulation of the atmosphere, precipitation and river runoff over the territory of Kazakhstan]. 2011. Dostupno v <https://articlekz.com/article/8558> (in Russian)

Sinopticheskiye protsessi Sredney Azii [Synoptic processes of Middle Asia] / Bugayev V.A., Dzhordzhio V.A., Kozik Ye.M., Petrosyants M.A., Pshenichnyy A.YA., Romanov N.N., Chernysheva O.N. / Pod red. T.A. Sarymsakova, V.A. Bugayeva, V.A. Dzhordzhio, M.A. Petrosyantsa, O.N. Chernyshevoy. – Tashkent: AN Uz, 1957. – 477 s. (in Russian)

Subbotina O.I., Chevychalova T.M. Osobennosti mnogoletnih izmeneniy atmosfernoy tsirkulyatsii na territorii Sredney Azii [Features of long-term changes in atmospheric circulation in the territory of Middle Asia] // Tr. SANIGMI. – 1991. – Vyp. 141 (222). – S. 12-21. (in Russian)

Ugryumov A.I. Dolgosrochniye meteorologicheskiye prognozi [Long-term meteorological forecasts]. Uchebnoye posobiye. – S-Pb.: RGGMU, 2006. – 84 s. (in Russian)