

ДАЛЬНИЕ СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНЫХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЕЙ АНТИЦИКЛОНОВ И ЦИКЛОНОВ ВО ВНЕТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗЕМЛИ

Холопцев А. В., Катунина Е. В.

*Севастопольское отделение Государственного Океанографического института имени
Н. Н. Зубова (СО ГОИН), Севастополь, Россия*

E-mail: kholoptsev@mail.ru, katun_elena@mail.ru

Выявлены дальние связи межгодовых изменений суммарных продолжительностей в том или ином месяце антициклонов с вариациями суммарных продолжительностей циклонов над различными участками поверхности внетропической зоны Северного полушария Земли, обладавшие в период 1948–2017 гг. инвариантностью к выбору временного интервала, по которому оценивалась их значимость.

Ключевые слова: суммарная продолжительность существования, циклон, антициклон, дальние связи, межгодовые изменения, корреляция.

ВВЕДЕНИЕ

Суммарные продолжительности существования над некоторым участком земной поверхности циклонов (СПЦ) и антициклонов (СПА), которые оценены за тот или иной месяц, значительно влияют на жизнедеятельность его населения, а также состояния его ландшафтных комплексов. Тенденции межгодовых изменений СПА и СПЦ, которые проявляются в любом регионе мира, также во многом определяют эффективность развития в нем сельского, лесного, водного хозяйства и транспорта. Поэтому совершенствование методик моделирования изменений указанных характеристик в том или ином регионе является актуальной и социально значимой проблемой метеорологии, физической географии, геофизики ландшафтов, а также развития упомянутых секторов его экономики.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для регионов, которые относятся к наиболее густонаселенным и экономически развитым. Многие из них находятся во внетропической зоне Северного полушария. Здесь же расположена и вся территория России.

Поскольку причинные связи, обуславливающие изменения СПА и СПЦ над территориями каких-либо регионов данной зоны, не выявлены, при их моделировании ныне применяются статистические методы [1]. Получаемые при этом результаты не всегда удовлетворяют потребностям практики, вследствие чего развитие соответствующих методик имело бы немалое теоретическое и практическое значение.

Согласно современным представлениям об особенностях моделирования природных процессов, которое осуществляется с использованием статистических методов, адекватность его результатов во многом определяется перечнем факторов, которые при этом учитываются. Качество таких моделей может являться приемлемым, если статистические связи изучаемого процесса с факторами, которые

учитываются в качестве их аргументов, являются значимыми и обладают инвариантностью к выбору отрезка времени, на котором оценивается их значимость [2].

При осуществлении сценария будущего, в котором природные закономерности, определявшие в прошлом значимость связей между изучаемыми процессами и их факторами, и далее сохраняются неизменными, подобные модели могут быть использованы и для их прогнозирования. Поэтому перспективным направлением совершенствования методик моделирования изменений СПА (СПЦ) над тем или иным изучаемым регионом является выявление и изучение их связей, с другими природными процессами, которые обладают указанным свойством.

Важной разновидностью связей между некоторыми процессами в климатической системе нашей планеты являются так называемые «дальние», при которых изменения их состояний в регионах, разнесенных на большие расстояния, происходят взаимосогласовано [3, 4, 5]. Проявляются такие связи и между некоторыми процессами в поле атмосферного давления [3]. Это позволяет предположить, возможность существования аналогичных дальних связей и для таких процессов, как межгодовые изменения СПА либо СПЦ над некоторыми регионами внетропической зоны Северного полушария. Подтверждение данной гипотезы позволило бы использовать подобные связи не только для моделирования, но и при прогнозировании изучаемых процессов, однако ранее ее справедливость не оценивалась.

Поэтому целью данной работы является проверка адекватности выдвинутой гипотезы, а также выявление особенностей дальних связей межгодовых изменений СПА и СПЦ над различными регионами внетропической зоны Северного полушария Земли.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- Оценка значений СПА и СПЦ для каждого месяца и различных частей внетропической зоны Северного полушария (расположенных к северу от параллели 40°N);
- Анализ статистических связей межгодовых изменений СПА и СПЦ в те или иные месяцы над различными частями этой зоны, с вариациями данных характеристик для других ее частей, расположенных восточнее.

Материалы и методы

Изучению закономерностей изменения характеристик антициклонической и циклонической активности (в том числе СПА и СПЦ) в регионах внетропической зоны Северного полушария, посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Из них следует, что изучаемые процессы являются следствиями происходящих перемен глобального климата. Поэтому при оценке инвариантности к выбору временного интервала, на котором оцениваются характеристики дальних связей, целесообразно располагать информацией об изменениях СПА и СПЦ в соответствующих регионах не только за период

современного потепления климата (начавшийся в середине 80-х годов XX века [13]), но и за предыдущий период его относительной стабильности.

Так как при нахождении над изучаемым участком земной поверхности антициклона (циклона), атмосферное давление на нем является повышенным (пониженным), при вычислении значений СПА и СПЦ для какого-либо участка земной поверхности как фактический материал могут быть использованы соответствующие результаты реанализа среднесуточных значений приведенного к уровню моря приземного атмосферного давления.

Одни из наиболее продолжительных временных рядов результатов подобного реанализа NCEP/NCAR представлены в [13]. Упомянутая информация соответствует всем пунктам земной поверхности, на которые приходятся узлы координатной сетки с шагом 2,5°, а также периоду с 1 января 1948г. по 31 декабря 2017г.

Адекватность указанного фактического материала оценена путем выборочного сопоставления оценок упомянутых показателей, интерполированных в пункты, где расположены гидрометеорологические обсерватории (ГМО) Южного Федерального округа России, с их значениями, вычисленными по результатам выполненных на них режимных наблюдений. Информация о результатах этих наблюдений получена из архива Севастопольского отделения ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова».

Решение о пригодности данного фактического материала для решения рассматриваемых задач принималось путем оценки среднеквадратических отклонений разности значений указанных показателей для подобных пунктов, а также проверки адекватности статистической гипотезы о значимости связи между их межгодовыми изменениями (с использованием критерия Стьюдента) [13].

Установлено, что значения среднеквадратических отклонений разности оценок среднесуточных значений приведенного к уровню моря атмосферного давления в пунктах расположения учитываемых ГМО, которые вычислены по результатам реанализа, а также их значений, вычисленных по результатам режимных наблюдений, не превышает 9% от средней за 1948-2017 гг. амплитуды годовых изменений последних. Достоверность статистических выводов о значимости связи между этими данными для всех учитываемых ГМО и всех месяцев составляет не меньше 99%, что свидетельствует об адекватности используемого фактического материала.

При решении первой задачи для каждого пункта земной поверхности, который соответствует некоторому узлу упомянутой координатной сетки, расположенному к северу от параллели 40°N по результатам рассматриваемого реанализа выявлялись сутки каждого месяца, в которые над ним располагался циклон, либо антициклон.

Проблеме идентификации циклонов во внетропической зоне Северного полушария по результатам реанализа поля атмосферного давления посвящена работа [14]. Из нее следует, что различия оценок характеристик этих вихрей, которые могут быть получены с использованием существующих методов их идентификации, в значительной мере обусловлены разным временным и пространственным разрешением анализируемых данных, а также орографическими

эффектами. Все такие методы предполагают не только обнаружение, но и оценку различных количественных характеристик рассматриваемых циклонов (их числа, размеров, интенсивности и времени жизни). Аналогичные методы могут быть применены и для идентификации антициклонов внетропической зоны того же полушария [15].

Обнаружение циклонов или антициклонов является одной из задач, которые решаются при их идентификации. При его осуществлении учитывалось, что вокруг в любой территории или акватории достаточно больших размеров, над которой на протяжении не менее 3 суток повышено (понижено) атмосферное давление (какой бы причиной это не было вызвано), неизбежно возникает антициклон (циклон). Поэтому процедура принятия решения о присутствии над рассматриваемым пунктом в некоторые сутки антициклона (циклона) включала два этапа. На первом этапе подобное решение выносилось предварительно, если:

- над ним на протяжении трех и более суток (включая рассматриваемые), среднесуточное атмосферное давление превышает (не превышает) 1015 гПа;
- данное условие выполняется не менее чем для пяти пунктов (включая и изучаемый), которые образуют односвязанную область любой конфигурации.

Так как, могут существовать антициклоны (циклоны), не соответствующие указанным критериям, на втором этапе рассматриваемой процедуры для каждого суток, по которым принято то или иное предварительное решение, анализировалась суточная карта погоды для Северного полушария (представленной в Синоптическом бюллетене Росгидромета). В результате этого принималось окончательное решение о наличии либо отсутствии в рассматриваемые сутки над изучаемым пунктом антициклона (циклона).

Значение СПА (СПЦ) определялось как количество суток некоторого месяца, для которых принято решение о наличии над соответствующим пунктом антициклона (циклона).

Если период существования антициклона (циклона) над изучаемым пунктом начинается в одном месяце, а заканчивается в другом, при оценке соответствующего значения СПА (СПЦ) продолжительность этого периода учитывается для того месяца, к которому относится большая его часть.

При решении второй задачи вся поверхность внетропической зоны Северного полушария (между параллелью 40°N и Северным полюсом) разбита на непересекающиеся части, протяженности которых составляют: - по меридиану 2,5°, - по широте 15°. Западная граница первой части в каждой широтной зоне совпадает с Гринвичским меридианом, а ее восточная граница – с западной границей второй части и меридианом 15°E. Таким образом, в каждой из 24 широтных зон (между Северным полюсом и параллелью 40°N), шириной по 2,5°, выделено по 24 части.

Для каждой такой части среднее значение СПА (СПЦ), вычислено как среднее арифметическое значений данного показателя, которые соответствуют всем узлам координатной сетки 2,5°x2,5°, попавшим в его пределы. Из полученных таким образом оценок СПА и СПЦ для каждого месяца в период 1948-2017гг., и каждого

из 24 сегментов каждой из 24 зон в сформированы временные ряды этих характеристик, которые содержат по 70 членов.

При выявлении значимых связей между изучаемыми процессами применен метод корреляционного анализа. Для каждого сегмента Северного полушария вычислены значения коэффициента корреляции тех или иных отрезков сформированных таким образом временных рядов СПА и СПЦ, с соответствующими отрезками временных рядов тех же характеристик для прочих 23 сегментов той же широтной зоны, расположенных восточнее.

Объектом обнаружения являлись связи, обладающие инвариантностью к выбору отрезка времени, по которому оценивается их характеристика. Поэтому изложенная методика применена для выявления связей, которые являлись значимыми для любых отрезков времени длиной 20 лет, относящихся к изучаемому периоду (1948-2017гг.), а также для всего этого периода. Связь признавалась значимой и инвариантной к выбору отрезка времени, на котором оценивается ее значимость, если она была оценена как значимая для всех указанных отрезков времени.

В сопоставляемых отрезках временных рядов СПА и СПЦ для каждого месяца и каждого сегмента предварительно скомпенсирован линейный тренд.

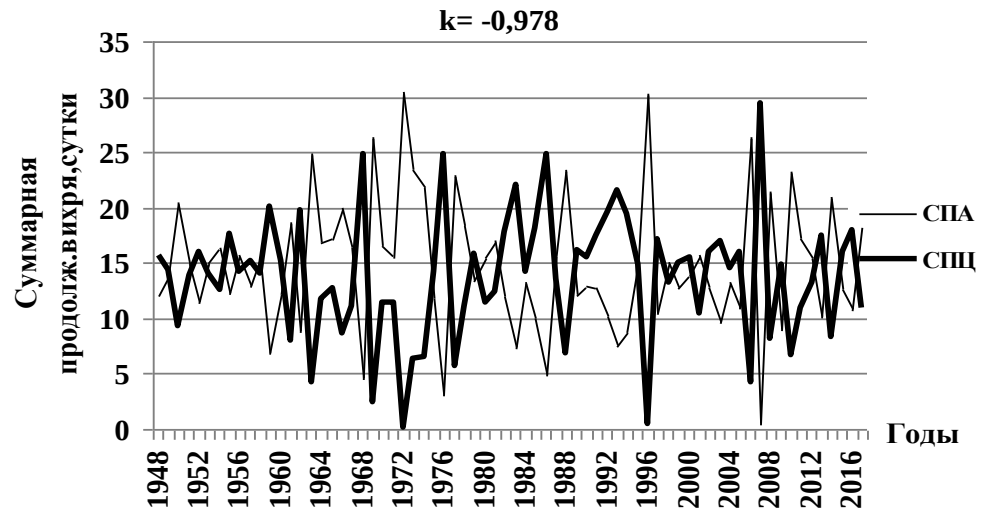
Для выявления связей между изучаемыми рядами, которые являются статистически значимыми, применен критерий Стьюдента. При определении числа степеней свободы каждого изучаемого временного ряда, рассчитана его автокорреляционная функция.

Решение о значимости изучаемой связи принималось в случае, если вычисленное значение коэффициента корреляции сопоставляемых временных рядов по модулю превышало пороговый уровень, который соответствует достоверности статистического вывода 95%.

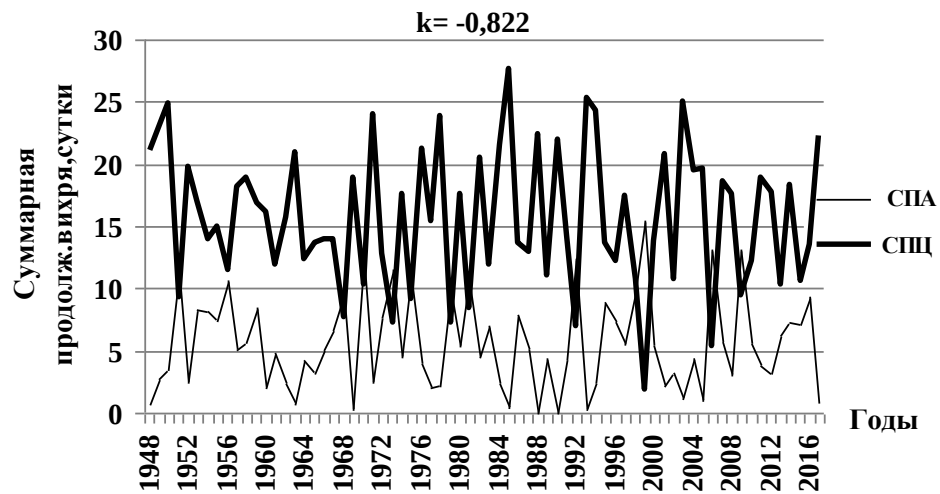
Результаты исследования и их анализ

В соответствии с изложенной методикой, для каждого месяца и каждой изучаемой части внетропической зоны Северного полушария сформированы временные ряды СПА и СПЦ.

В качестве примера, зависимости от времени рассчитанных по описанной методике значений СПА и СПЦ, соответствующих участку земной поверхности, ограниченному меридианами 30°E и 45°E и параллелями 52,5°N и 55°N, а также январю и июню, приведены на рисунке 1.



а) январь



б) июнь

Рис. 1. Зависимости от времени оценок СПА и СПЦ для участка территории внетропической зоны Северного полушария, ограниченного меридианами 30°Е и 45°Е и параллелями 52,5°N и 55°N, где k -коэффициент корреляции сопоставляемых зависимостей.

Как следует из рисунка 1, межгодовые изменения оценок СПА и СПЦ для участка территории внетропической зоны Северного полушария, ограниченного

меридианами 30°E и 45°E и параллелями 52,5°N и 55°N, представляют собой взаимосвязанные сложные колебания, которые происходят практически в противофазе. Последнее объясняется тем, что при увеличении над некоторым участком СПА, соответствующее ему значение СПЦ для того же месяца, как правило, снижается [16].

Как показали расчеты, в энергетических спектрах рассматриваемых процессов присутствуют мощные максимумы, которые, характеризуются периодами, близкими к 42 месяцам (3,5 года). В XXI веке максимальные значения СПА для января и для июня соответствуют 2006г., а максимальные значения СПЦ - 2005г.

При решении второй задачи для всех изучаемых частей каждой широтной зоны и каждого месяца, для всех изучаемых периодов времени рассчитаны значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА, а также СПЦ с вариациями СПА и СПЦ во всех сегментах, расположенных восточнее.

Установлено, что значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА (СПЦ) для любого сегмента каждой зоны и любого месяца значимо и положительно коррелированы с изменениями той же характеристики в ее сегментах, расположенных по соседству (как восточнее, так и западнее). Ширина диапазонов угловых сдвигов между сегментами, в которых подобное имеет место, увеличивается с ростом их средней широты от 1-2 для зоны между параллелями 40-42,5°N до 24 для зон, расположенных к северу от параллели 80°N. Вне подобных диапазонов значимой положительной корреляции между рассматриваемыми процессами не выявлено.

Существование значимой положительной корреляции между изменениями СПА (СПЦ) над смежными частями поверхности рассматриваемой зоны, не удивительно, поскольку линейные размеры циклонов и антициклонов, как правило, превышают линейные размеры этих частей [17, 18].

По той же причине для любого месяца и любых смежных частей изучаемой зоны существует значимая отрицательная корреляция межгодовых изменений СПА (СПЦ) с вариациями СПЦ (СПА).

Установлено также существование участков земной поверхности, расположенных между параллелями 40°N и 70°N, для которых межгодовые изменения СПА (СПЦ) значимо и положительно коррелированы с вариациями СПЦ (СПА) в некоторых удаленных сегментах, расположенных восточнее.

В качестве примера в таблице 1 представлены превышающие уровень 95% порога достоверной корреляции (0,45) по критерию Стьюдента, значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА для марта, в сегментах зоны 60-62,5°N, а также вариаций СПЦ в других ее сегментах, которые расположены восточнее и соответствуют периоду 1998-2017 гг.

Таблица 1.

Превышающие уровень 0,45 значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА для марта, в рассматриваемых частях зоны 60-62,5°N, а также вариаций СПЦ в ее частях, которые сдвинуты к востоку, для периода 1998-2017 гг.
(* - корреляция значимой не является)

Сдвиг (°)	75	90	105	120	135	150	165	210	225	240	255	270	285
0-15°E	*	*	*	*	0,52	0,45	*	*	*	*	*	*	*
75-90°E	*	*	*	*	0,45	*	*	*	*	*	*	*	*
90-105°E	*	*	*	0,61	0,56	*	*	*	*	*	*	*	*
105-120°E	*	*	0,58	0,54	*	*	*	*	*	*	*	*	*
120-135°E	*	0,74	0,71	0,58	*	*	*	*	*	*	*	*	*
135-150°E	0,67	0,64	0,54	*	*	*	*	0,48	0,52	*	*	*	*
165-180°E	*	*	*	*	*	*	0,51	*	*	*	*	*	*
180-165°W	*	*	*	*	*	0,55	*	*	*	*	*	*	*
150-135°W	*	*	*	*	*	*	*	*	0,46	0,61	0,57	0,74	0,66
135-120°W	*	*	*	*	*	*	*	*	0,56	0,54	0,71	0,63	*
120-105°W	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,58	0,54		*
30-15°W	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15-0°W	*	*	*	*	*	0,47	*	*	*	*	*	*	*

Из таблицы 1 следует, что если для некоторой части (А) рассматриваемой зоны значение коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА, а также вариаций СПЦ в другой ее части (В), превышает выбранный уровень значимости, то для такой части (В) значение коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА, а также вариаций СПЦ в части (А), также превышает этот уровень. При этом абсолютные значения этих коэффициентов различаются лишь во втором знаке.

В самом деле, если часть (А) ограничена меридианами 135°E и 150°E, а часть (В) сдвинута относительно нее к востоку на 75°, то границами последней являются меридианы 150°W и 135°W.

Если же границами части (А) служат меридианы 150°W и 135°W, то часть (В) сдвинута относительно нее к востоку на 285° и ее границами являются меридианы

ДАЛЬНИЕ СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНЫХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЕЙ
АНТИЦИКЛОНОВ И ЦИКЛОНОВ ВО ВНЕТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО...

135°E и 150°E. Нетрудно видеть, что подобным частям (А) и (В) соответствуют значения коэффициента корреляции 0,67 и 0,66.

Подобная симметрия выявлена для всех связей, которые показаны в таблице 1. Существует она и для прочих месяцев и всех зон, расположенных между параллелями 40°N и 70°N, а также других отрезков времени такой же и другой длины.

К примеру, для периода 1948-2017гг. в таблице 2 представлены превышающие уровень 95% порога достоверной корреляции (0,245) по критерию Стьюдента, значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА для марта, в частях зоны 60-62,5°N, а также вариаций СПЦ в других ее частях.

Таблица 2.

Превышающие уровень 0,245 значения коэффициента корреляции
межгодовых изменений СПА для марта, для рассматриваемых частей зоны 60-
62,5°N, а также вариаций СПЦ для ее частей, которые сдвинуты к востоку, для
периода 1948-2017 гг. (*- корреляция значимой не является)

Сдвиг (°)	60	75	90	105	120	150	210	240	255	270	285	300
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0-15°E	*	*	*	*	*	*	*	0,25	*	*	*	*
15-30°E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,26	0,27
30-45°E	*	*	*	*	*	*	*	*	0,26	*	*	*
90-105°E	*	0,25	0,3	0,3	*	*	*	*	*	*	*	*
105-120°E	*	*	0,25	*	*	*	*	*	*	*	*	*
120-135°E	*	0,35	0,37	*	*	*	*	*	*	*	*	*
135-150°E	0,29	0,33	*	0,33	*	0,33	*	*	*	*	*	*
150-165°E	*	*	0,35	0,31	*	*	*	*	*	*	*	*
165-180°E	*	*	0,28	*	*	*	*	*	*	*	0,25	*
180-165°W	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,3	*	*
165-150°W	*	*	*	*	*	*	*	*	0,3	*	0,35	0,29

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
150-135 °W	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,37	0,33	*
120-105 °W	*	*	*	*	0,25	*	*	0,28	0,33	0,35	*	*
105-90 °W	*	*	*	*	*	*	*	*	0,31	0,28	*	*
75-60 °W	*	*	*	0,26	*	*	*	*	*	*	*	*
60-45 °W	*	*	*	*	*	*	0,34	*	*	*	*	*

Как видно из таблицы 2, для представленных в ней связей характерны такие же особенности. При этом расположения частей рассматриваемой зоны, для которых связи, выявленные для отрезка времени 1948-2017 гг., являются значимыми, совпадают с расположениями ее частей, приведенными в таблице 1, не всегда. Следовательно, не все выявленные связи обладают инвариантностью к выбору отрезка времени, на котором оценивается их значимость, тем не менее, подобные связи существуют.

Это подтверждает таблица 3, где приведены угловые сдвиги между рассматриваемыми частями зоны 60-62,5°N, при которых межгодовые вариации СПА для марта значимо и положительно коррелированы с изменениями СПЦ для всех периодов, указанных выше (они обозначены цифрой 1, а сдвиги, при которых подобные связи значимыми не являются - *).

Таблица 3.

Соответствие между расположениями частей зоны 60-62,5°N и сдвигами по долготе других ее частей, где межгодовые вариации СПА для марта значимо и положительно коррелированы с изменениями СПЦ на отрезках времени 1948-1967 гг., 1978-1997 гг., 1998-2017 гг., а также 1948-2017 гг.

Часть зоны	Сдвиг по долготе (°)							
	75	90	105	120	240	255	270	285
120-135°E	*	1	*	1	*	*	*	*
135-150°E	1	*	1	*	*	*	*	*
150-135 °W	*	*	*	*	*	*	1	1
120-105 °W	*	*	*	*	1	1	*	*

Таблица 3 показывает, что части рассматриваемой зоны, для которых корреляция межгодовых изменений СПА, а также вариаций СПЦ над ее частями, расположенными восточней, является положительной и статистически значимой для всех изучаемых отрезков времени, действительно существуют. В рассматриваемом примере они расположены в Дальневосточном секторе (120-180°E), а также Тихоокеанском (180-120°W) и Американском секторе (120-60°W).

Выявленные особенности свидетельствуют о том, что установленным связям (которые, вследствие больших сдвигов по долготе между подобными участками земной поверхности, могут рассматриваться как дальние), в период 1948-2017 гг. была свойственна инвариантность к выбору отрезка времени, на котором оценивалась их значимость. Это позволяет предположить, что данная их особенность может сохраниться такой же и в некотором будущем.

Анализ полученных результатов показал, что расположения частей изучаемых зон, для которых межгодовые вариации соответствующих им СПА значимо и положительно коррелированы с изменениями СПЦ в других частях тех же зон, существенно зависят от месяца.

Как пример, в таблицах 4, 5, 6 указаны угловые сдвиги между рассматриваемыми частями зоны 55-57,5°N, при которых межгодовые вариации соответствующих им СПА для марта, апреля и мая значимо и положительно коррелированы с изменениями СПЦ для тех же месяцев периода 1998-2017 гг. Сдвиги, при которых рассматриваемые связи значимы, обозначены цифрой 1. Сдвиги, при которых они значимыми не являются - *.

Таблица 4.

Соответствие между расположениями частей зоны 60-62,5°N и сдвигами по долготе других ее частей, при которых межгодовые вариации соответствующих им СПА значимо и положительно коррелированы с изменениями СПЦ для периода 1998-2017гг.

Часть зоны (°)	Сдвиг по долготе (°). Март, зона 55-57,5°N											
	75	90	105	120	135	150	210	225	240	255	270	285
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
75-90°E	*	*	*	*	1	1	*	*	*	*	*	*
90-105°E	*	*	*	1	1	1	*	*	*	*	*	*
105-120°E	*	*	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*
120-135°E	*	1	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*
135-150°E	1	*	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
165-180oE	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*
180-165 oW	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*
165-150 oW	*	*	*	*	*	*	*	1	1	1	1	1
150-135 oW	*	*	*	*	*	*	1	1	1	1	*	*
135-120 oW	*	*	*	*	*	*	1	1	1	1	*	*
120-105 oW	*	*	*	*	*	*	*	1	1	*	*	*
105-90 oW	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*
45-30 oW	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*
30-15 oW	*	*	*	*	1	1	*	*	*	255	270	285

Из таблицы 4 следует, что в марте выявленные части рассматриваемой зоны, в которых межгодовые вариации СПА значимо и положительно коррелированы с изменениями СПЦ для периода 1998-2017 гг., относятся к ее Сибирскому (60-120°E), Дальневосточному (120-180°E), Тихоокеанскому (180-120°W), Американскому (120-60°W) и Атлантическому (60-0°W) сектору.

Таблица 5.

Соответствие между расположениями частей зоны 60-62,5°N и сдвигами по долготе других ее частей, при которых межгодовые вариации соответствующих им СПА значимо и положительно коррелированы с изменениями СПЦ для периода 1998-2017 гг.

Часть зоны (°)	Сдвиг по долготе (°). Апрель, зона 55-57,5°N												
	45	60	75	105	120	135	165	195	225	240	255	300	315
0-15°E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	1

ДАЛЬНИЕ СВЯЗИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНЫХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЕЙ
АНТИЦИКЛОНОВ И ЦИКЛОНОВ ВО ВНЕТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО...

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15-30°E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	1
30-45°E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
60-75°E	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*
135-150°E	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*
180-165°W	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*
165-150°W	*	*	*	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*
150-135°W	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*
135-120°W	*	*	*	1	*	*	*	*	*	1	*	*	*
105-90°W	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	1	*	1
45-30°W	1	1	*	*	*	*	*	*	1	*	1	*	*
30-15°W	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*

В апреле и мае аналогичные части встречаются в любых секторах. Аналогичные особенности характерны и для других изучаемых зон. Из таблиц видно, что характеристикой рассматриваемых связей, которая также зависит от месяца, является общее количество частей рассматриваемых зон, для которых эти связи являются значимыми. Характер этой зависимости понятен из таблицы 5, где, в качестве примера, приведены общие количества таких частей различных рассматриваемых зон, которые соответствуют месяцам с января по июль и периоду 1998-2017 гг.

Таблица 6.

Соответствие между расположениями частей зоны 60-62,5°N и сдвигами по долготе других ее частей, при которых межгодовые вариации соответствующих им СПА значимо и положительно коррелированы с изменениями СПЦ для периода 1998-2017 гг.

Часть зоны(°)	Сдвиг по долготе (°). Май, зона 55-57,5 °N								
	45	60	75	90	105	255	270	285	315
0-15°E	*	*	*	*	*	*	1	*	*
15-30°E	*	*	*	*	*	*	*	*	1
90-105°E	*	*	1	*	*	*	*	*	*
165-180°E	*	*	*	*	*	*	*	1	*
150-135°W	*	*	*	1	*	*	*	*	*
135-120°W	*	1	1	1	1	*	*	*	*
90-75°W	*	*	*	1	*	*	*	*	*
60-45°W	*	*	*	*	*	*	1	1	*
45-30°W	*	*	*	*	*	*	1	*	*
30-15°W	1	*	*	*	*	1	*	*	*

Таблица 7.

Общие количества частей рассматриваемых широтных зон, в которых межгодовые изменения СПА в январе-июле 1998-2017 гг. значимо связаны с вариациями СПЦ в их сегментах, расположенных восточнее

Зона	Период наблюдений (месяцы)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	2	3	4	5	6	7	8
90-70°N	0	0	0	0	0	0	0
70-67,5°N	0	0	0	4	0	0	0
67,5-65°N	4	0	10	7	7	0	0
65-62,5°N	7	0	19	10	14	0	0
62,5-60°N	9	6	31	6	18	0	2
60-57,5°N	10	2	35	17	19	0	4
57,5-55°N	4	12	34	22	15	2	0
55-52,5°N	6	20	36	22	20	0	4
52,5-50°N	4	4	30	28	14	0	4
50-47,5°N	4	4	22	39	6	4	2

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8
47,5-45 °N	10	6	22	29	2	8	12
45-42,5 °N	8	5	17	22	2	6	9
42,5-40 °N	5	3	11	15	1	4	6

Из таблицы 7 следует, что в широтных зонах, расположенных к северу от параллели 70°N частей, в которых межгодовые вариации СПА значимо связаны с изменениями СПЦ в каких-либо их частях, расположенных восточнее, для какого-либо месяца, за указанный период не выявлено.

Практически все рассматриваемые сегменты в любые месяцы располагаются в пределах Северного Умеренного климатического пояса, а их наибольшие количества соответствуют широтной зоне, ограниченной параллелями 47,5-60°N.

В течение года максимальные общие количества выявленных частей, которые соответствуют различным изучаемым отрезкам времени, приходятся на весенние и осенние месяцы, а минимальные количества этих показателей характерны для летних и зимних месяцев.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о существовании значимых и инвариантных к временным сдвигам дальних связей межгодовых изменений СПА и СПЦ в ряде частей внетропической зоны Северного полушария, с вариациями этих характеристик в других ее частях, расположенных восточнее, которым соответствуют положительные значения коэффициента корреляции временных рядов разноименных процессов.

Обсуждение полученных результатов

Существование частей внетропической зоны Северного полушария, где межгодовые изменения СПА в ряде месяцев на любых рассматриваемых отрезках времени значимо и положительно коррелированы с вариациями и СПЦ в других, несмежных ее частях, которые расположены восточнее и на значительных удалениях от них, позволяет предположить, что подобные связи носят причинный характер.

Наличие значимой положительной корреляции межгодовых изменений СПА над выявленными частями (А) внетропической зоны Северного полушария, с вариациями и СПЦ в других, несмежных ее частях (В), которые расположены восточнее, указывает на то, что немалая часть возникающих над (А) антициклонов может образовываться в результате вхождения в Арктику циклонов, проходящих через соответствующие (В).

Такое, в принципе, возможно, поскольку в тыловых секторах любого циклона Северного полушария воздух движется в южном направлении. При вхождении такого циклона в высокие широты не только активизируется термическая трансформация увлекаемого им воздуха, но и возрастает влияние на этот вихрь силы Кориолиса [19].

Все это может приводить к увеличению в данном циклоне завихренности и усилению его взаимодействия с арктическим антициклоном, которое приводит к образованию вторжения в умеренные широты арктического воздуха. Так как этот воздух содержит мало водяного пара и при движении на юг неизбежно нагревается, рассматриваемый процесс сопровождается образованием над регионами мира, куда он поступает, антициклонов.

Следовательно, представляется вероятным, что причиной существования рассматриваемых дальних связей межгодовых изменений СПА и СПЦ является образование вторжений арктического воздуха, которые вызывают образование над выявленными участками земной поверхности (А) - антициклонов, при вхождении в Арктику некоторых циклонов, проходящих над соответствующими участками (В).

Подобная гипотеза не противоречит ранее установленным фактам и тривиальной не является, вследствие чего она нуждается в проверке.

Необходимым условием ее адекватности является наличие значимой положительной корреляции межгодовых изменений СПА над какими-либо частями (А) внетропической зоны Северного полушария, с совпадающими по времени вариациями СПЦ над несмежными ее частями (В), которые расположены не только восточнее, но и южнее.

Для проверки выполнимости подобного необходимого условия, с использованием той же методики изучены статистические связи межгодовых изменений СПА для различных месяцев над частями (А) зоны Северного полушария, ограниченной параллелями 67,5-70°N с вариациями и СПЦ над другими частями (В) прочих его зон, которые расположены между параллелями 40°N и 80°N.

В таблицах 8, 9, 10 в качестве примера, приведены превышающие уровень 95% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента (0,45), значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА для марта, над частями зоны 67,5-70°N, а также вариаций СПЦ над частями других зон, которые сдвинуты к югу и востоку, для периода 1998-2017 гг.

Таблица 8.

Превышающие уровень 0,45 значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА для марта, в сегментах зоны 67,5-70°N, а также вариаций СПЦ в сегментах других зон, которые сдвинуты по отношению к ним к югу и востоку, для периода 1998-2017 гг. (*- значение меньше уровня)

Зона, где рассматриваются изменения СПЦ: 62,5-65 °N (сдвиг к югу 5°)						
Сдвиг (°)	60	75	90	105	210	225
120-135 °E	*	*	0,52	0,50	*	*
135-150 °E	*	0,48	*	*	*	0,52
150-165 °E	0,51	0,46	*	*	0,52	*

Таблица 9.

Превышающие уровень 0,45 значения коэффициента корреляции
межгодовых изменений СПА для марта, в сегментах зоны 67,5-70°N, а также
вариаций СПЦ в сегментах других зон, которые сдвинуты по отношению к ним к
югу и востоку, для периода 1998-2017 гг. (*- значение меньше уровня)

Зона, где рассматриваются изменения СПЦ: 55-57,5°N (сдвиг к югу 12,5°)										
Сдвиг (°)	15	30	45	60	75	90	105	120	150	240
120- 135 °E	*	*	*	*	*	0,48	*	0,46	*	0
135- 150 °E	*	*	*	*	*	0	*	*	*	0,46
150- 165 °E	*	*	*	*	*	0,47	*	*	*	*
165- 180 °E	*	*	*	*	*	0,46	*	*	*	*
180- 165 °W	*	*	*	*	*	*	*	*	0,53	*
120- 105 °W	*	*	*	*	*	*	0,49	0,51	*	*
75-60 °W	*	*	*	0,50	*	0,52	0,57	*	*	*
60-45 °W	*	*	0,54	0,50	0,51	0,51	*	*	*	*
45-30 °W	*	0,57	0,59	0,60	0,50	*	*	*	*	*
30-15 °W	0,50	0,49	0,49	0,50	*	*	*	*	*	*
15-0 °W	*	*	0,45	0,51	*	*	*	*	*	*

Таблица 10.

Превышающие уровень 0,45 значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА для марта, в сегментах зоны 67,5-70°N, а также вариаций СПЦ в сегментах других зон, которые сдвинуты по отношению к ним к югу и востоку, для периода 1998-2017 гг. (*- значение меньше уровня)

Зона, где рассматриваются изменения СПЦ: 47,5-50°N (сдвиг к югу 20°)									
Сдвиг (°)	15	75	90	105	210	225	240	345	360
30-45 °E	*	0,47	*	*	*	*	*	*	*
120-135 °E	*	*	*	0,48	*	*	*	*	*
135-150 °E	*	*	0,51	*	*	*	0,50	*	*
150-165 °E	0,46	*	*	*	*	*	*	*	0,47
165-180 °E	*	*	*	*	*	*	*	0,51	0,51
105-90 °W	*	*	*	*	*	*	*	*	0,49
90-75 °W	*	*	*	*	0,52	0,57	*	0,45	*
75-60 °W	*	*	*	*	0,45	*	*	*	*

Как видно из таблиц 8, 9, 10 - количество и расположение частей зоны 67,5-70°N, где значения коэффициента корреляции межгодовых изменений СПА для марта, а также вариаций СПЦ над частями других зон, которые сдвинуты востоку, для периода 1998-2017гг. положительны и превышают выбранный уровень значимости (0,45), зависит от значений средней широты этих зон. Наибольшие количества подобных сегментов соответствует зонам, расположенным между параллелями 60°N и 50°N.

Если зоны, где расположены их части (В), расположены севернее зоны 67,5-70°N, то частей зоны (А) (67,5-70°N), для которых межгодовые изменения СПА значимо и положительно коррелированы с вариациями СПЦ над (В), не выявлено. Важной особенностью выявленных связей, которые существенно отличают их от связей, существующих в случаях, когда части (А) и (В) относятся к одним и тем же зонам, является их асимметрия.

Как видно из таблицы 6, если для частей (А) зоны 67,5-70°N межгодовые изменения СПА значимо и положительно коррелированы с вариациями СПЦ в

сегментах (В) других зон, то межгодовые изменения СПА в таких сегментах (В), как правило, с вариациями СПЦ в сегментах (А), не связаны.

Установлено, что среди связей, показанных в таблице 6, присутствует те, которым свойственна инвариантность к изменениям отрезка времени, на котором оценена их значимость.

Аналогичные особенности выявлены и для других месяцев, а также для случаев, когда зоны, в сегментах которых рассматриваются вариации СПЦ, расположены южнее зоны 67,5-70°N.

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено:

1. Инвариантные к выбору отрезка времени, на котором оценивается их значимость, дальние связи межгодовых изменений СПА над некоторыми рассматриваемыми участками поверхности внетропической зоны Северного полушария, с вариациями СПЦ в других над другими ее участками, существуют.

2. Если участки земной поверхности, которым соответствуют СПА и СПЦ, относятся к одной и той же зоне, выявленным связям между их межгодовыми изменениями на совпадающих отрезках времени свойственна симметрия.

3. Если участки земной поверхности, которым соответствуют СПА, расположены северней, чем участки, где рассматриваются СПЦ, корреляция межгодовых изменений этих показателей для многих сегментов также является значимой и положительной. Для некоторых таких участков связи между данными процессами инвариантны к выбору отрезка времени, на котором оценена их значимость. При этом такие связи всегда асимметричны.

4. Если участки земной поверхности, которым соответствуют СПА, расположены южнее, чем участки, где рассматриваются СПЦ, количество связей между этими процессами существенно сокращается, а связей, инвариантных к изменениям отрезка времени, на котором оценена их значимость, среди них не выявлено.

5. В целом полученные результаты свидетельствуют в пользу адекватности предположения о том, что причиной возникновения некоторых арктических вторжений служат вхождения в Арктику циклонов из субтропических широт Северного полушария.

Список литературы

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 1998. 1022 с.
2. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. Изд. 2-е, перераб. и испр. М.: Наука, 1981. 918 с.

3. Гущина Д. Ю. Дальние связи в климатической системе // География, общество, окружающая среда. Т.6. Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы. М.: Городец, 2004. С. 74–97.
4. Куликова И. А., Муравьев А. В., Реснянский Ю. Д. Синхронные и асинхронные связи между аномалиями температуры поверхностных вод Северной Атлантики и особенностями крупномасштабной циркуляции атмосферы над Северным полушарием // Метеорология и гидрология. 2010. № 2. С. 5–26.
5. Салугашвили Р. С. Дальние связи колебаний температуры воздуха на Европейской территории России в конце XX и начале XXI века // Метеорология и гидрология. 2013. №1. С. 57–66.
6. Мохов И.И., Чернокульский А.В., Акперов М.Г. и др. Изменения характеристик циклонической активности и облачности в атмосфере внетропических широт северного полушария по модельным расчетам в сопоставлении с данными реанализа и спутниковыми данными // Doklady Earth Sciences. 2009. Vol. 424. No 1. С. 147–150.
7. Мохов И. И., Мохов О. И., Петухов В. К. и др. Влияние глобальных климатических изменений на вихревую активность в атмосфере // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1992. Т. 28. С. 11–26.
8. Gulev S. K., Zolina O. and Grigoriev S. Climate changes in the winter cyclogenesis over the Northern Hemisphere from the NCEP/NCAR Reanalysis data // Clim. Dynamics. 2001. 17. pp. 795–809.
9. Geng Q. and Sugi M. Possible change of extratropical cyclone activity due to enhanced greenhouse gases and sulfate aerosols—study with a high-resolution AGCM // J. Climate. 2003. V. 16. № 13. pp. 2262–2274.
10. Bengtsson L., Hodges K. I. and Roeckner E. Storm Tracks and Climate Change // J. Climate. 2006. V. 19. № 15. pp. 3518–3543.
11. Wang X. L., Swail V. R., Zwiers F. W. Climatology and changes of extratropical cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR reanalysis for 1958–2001 // J. Climate. 2006. V. 19. № 13. pp. 3145–3166.
12. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // S. Solomon et al. Eds. Cambridge: Cambridge Univer., Press, 2007. 996 p.
13. База данных «Реанализ среднесуточных значений атмосферного давления в период начиная с 01.01.1948 г.». [Электронный ресурс]. UPL: <ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncp.reanalysis.dailyavgs/levelsea/>
14. Закс III. Теория статистических выводов. М.: Мир. 1985. 776 с.
15. Акперов М. Г., Мохов И. И. Сравнительный анализ методов идентификации внетропических циклонов // Изв. РАН. Сер. ФАО. 2010. Т. 46, № 5. С. 620–637.
16. Raible C. C., Della-Marta P., Schwierz C. et. al. Northern Hemisphere extratropical cyclones: A comparison of detection and tracking methods and different reanalyses // Mon. Wea. Rev. 2008. V. 136. № 3. pp. 880–897.
17. Holton J. R. An Introduction to Dynamic Meteorology. Fourth Edition. Elsevier, Inc., 2004. 535 p.
18. Davis, R. E., Hayden B. R., Gay D. A. et. al. The North Atlantic subtropical anticyclone // J. Climate. 1997. V. 10. pp. 728–744.
19. Serreze M. C. Climatological aspects of cyclone development and decay in the Arctic // Atmos.-Ocean. 1995. V. 33. № 1. pp. 1–23.

**THE FAR CONNECTIONS OF CHANGES OF THE TOTAL DURATION OF
ANTI-CYCLONES AND CYCLONES IN THE EXTRATROPICAL ZONE OF
THE NORTHERN HEMISPHERE OF THE EARTH**

Kholoptsev A.V., Katunina E.V.

Sevastopol Department of N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Sevastopol, Russia

E-mail: kholoptsev@mail.ru, katun_elena@mail.ru

Based on the results of the NCEP / NCAR reanalysis of the average daily values of the atmospheric pressure on the earth's surface, which was reduced to sea level, the interannual changes in the total life spans of a month of anticyclones and cyclones over all areas of the extratropical zone of the Northern Hemisphere were studied.

The adequacy of the hypothesis of the existence of long-range relationships between the interannual changes in the total durations of anticyclones and cyclones over certain regions of the extratropical zone of the Northern Hemisphere has been verified.

The surface areas of a given zone, for which far connections between the processes under consideration, exist, are identified.

As a consequence of these connections between processes, that are considered, there are a significant positive correlation.

It is shown, that if such sections are located on the same parallel, the identified connections are symmetrical (their significance does not depend on which of them the indicator refers to anticyclones, and for which to cyclones).

If the site, where the changes in the total duration of the existence of anticyclones are studied, is located to the north, than the site for which variations of the analogous characteristic of cyclones are considered, the connection between these processes does not have this feature.

It is established, that the long-range bonds studied have an invariance to the choice of the time interval, at which their characteristics are estimated. They are statistically significant at any time intervals of more than 20 years, which refer to the period 1948-2017.

The peculiarities of the revealed connections allow us to admit, that in the future they will retain their significance. As a consequence, their consideration in forecasting the processes under consideration seems appropriate.

The characteristics of the connections, that are being considered, demonstrate the adequacy of the assumption, that the corresponding entry into the Arctic of southern cyclones can serve as the reason for the occurrence of Arctic intrusions that reach the identified sites.

Key words: total duration of life, cyclone, anticyclone, long-distance connections, interannual changes, correlation, reanalysis.

Keywords: total duration of life, cyclone, anticyclone, long-distance connections, interannual changes, correlation, reanalysis.

References

1. Ajvazyan S.A., Mhitaryan V. S. *Prikladnaya statistika i osnovy ehkonometriki* (Applied statistics and the foundations of econometrics). Moscow: YUniti (Publ.), 1998, 1022 p. (in Russian).
2. Andronov A. A., Vitt A. A., Hajkin S. Eh. *Teoriya kolebanij* (The theory of oscillations). 2-e izd., pererab. i ispr.. Moscow: Nauka (Publ.), 1981, 918 p. (in Russian).
3. Gushchina D.YU. *Dal'nie svyazi v klimaticheskoy sisteme* (Long-range links in the climate system). Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. T.6.: *Dinamika i vzaimodejstvie atmosfery i gidrosfery*. Moscow: Gorodec (Publ.), 2004, pp. 74-97 (in Russian).
4. Kulikova I.A. *Sinhronnye i asinhronnye svyazi mezhdu anomaliyami temperatury poverhnostnykh vod Severnoj Atlantiki i osobennostyami krupnomasshtabnoj cirkulyacii atmosfery nad Severnym polushariem* (Synchronous and asynchronous communications between anomalies of temperature of a surface water of Northern Atlantic and the features of large-scale atmospheric circulation over the Northern Hemisphere). I. A. Kulikova, A. V. Murav'ev, YU.D. Resnyanskij). *Meteorologiya i gidrologiya*, 2010, no. 2, pp. 5-26 (in Russian).
5. Salugashvili R.S. *Dal'nie svyazi kolebanij temperatury vozduha na Evropejskoj territorii Rossii v konce HKH i nachale HKH veka* (Long-distance connections of air temperature fluctuations in European Russia at the end of the 20th and beginning of the 21st century). *Meteorologiya i gidrologiya*, 2013, no. 1, pp. 57-66 (in Russian).
6. I. I. Mohov, A. V. Chernokul'skij, M. G. Akperov, ZH. Dyufren, EH. Le Tryot. *Izmeneniya harakteristik ciklonicheskoy aktivnosti i oblachnosti v atmosfere vnetropicheskikh shirot severnogo polushariya po model'nym raschetam v sopostavlenii s dannymi reanaliza i sputnikovymi dannymi* (Changes in the characteristics of cyclonic activity and cloudiness in the atmosphere of the extratropical latitudes of the northern hemisphere according to model calculations in comparison with reanalysis data and satellite data). *DokladyEarthSciences*, 2009, vol. 424, no. 1, pp. 147-150 (in Russian).
7. Mohov I.I., O.I. Mohov, V.K. Petuhov, R.R. Hajrullin. *Vliyanie global'nykh klimaticheskikh izmenenij na vihevuyu aktivnost' v atmosfere* (The influence of global climate changes on the vortex activity in the atmosphere). Ser. FAO. Moscow: *Izv AN SSSR* (Publ.), 1992, t. 28, pp. 11-26 (in Russian).
8. Gulev S.K., O. Zolina, and S. Grigoriev. *Climate changes in the winter cyclogenesis over the Northern Hemisphere from the NCEP/NCAR Reanalysis data*. *Clim. Dynamics*, 2001, 17, pp. 795-809. (in English).
9. Geng Q. and Sugi M. *Possible change of extratropical cyclone activity due to enhanced greenhouse gases and sulfate aerosols—study with a high-resolution AGCM*. *J. Climate*, 2003, Vol.16, no. 13, pp. 2262-2274. (in English).
10. Bengtsson L., Hodges K. I. and Roeckner E. *Storm Tracks and Climate Change*. *J. Climate*, 2006, Vol. 19, no. 15, pp. 3518-3543. (in English).
11. Wang X.L., Swail V.R., Zwiers F.W. *Climatology and changes of extratropical cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR reanalysis for 1958-2001*. *J. Climate*, 2006, Vol. 19, no. 13, pp. 3145-3166. (in English).
12. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Solomon et al. Eds. Cambridge: CambridgeUniv (Publ.), 2007, 996 p. (in English).
13. Baza dannyh «Renaliz srednesutochnykh znachenij atmosfernogo davleniya v period nachinaya s 01.01.1948 g.» (Database "Renalysis of average daily atmospheric pressure values in the period starting from 01.01.1948."). [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis.dailyavgs/levelsea/>
14. Zaks Sh. *Teoriya statisticheskikh vyvodov* (The theory of statistical conclusions). Moscow: Mir (Publ.), 1985, 776 p. (in Russian).
15. Akperov M.G., Mohov I.I. *Sravnitel'nyj analiz metodov identifikacii vnetropicheskikh ciklonov* (Comparative analysis of methods of identification of extra tropical cyclones). Ser. FAO. Moscow: *Izv. RAN* (Publ.), 2010, t. 46, no. 5, pp. 620-637 (in Russian).

16. Raible C.C., Della-Marta P., Schwierz C., Wernli H., Blender R. Northern Hemisphere extratropical cyclones: A comparison of detection and tracking methods and different. *Mon. Wea. Rev.*, 2008, Vol. 136, no.3, pp. 880-897. (in English).
17. Holton J. R. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Fourth Edition. Elsevier, Inc. (Publ.), 2004, 535 p. (in English).
18. Davis, R.E., B.R. Hayden, D.A. Gay, W.L. Phillips, and G.V. Jones. The North Atlantic subtropical anticyclone. *J.Climate*, 1997, Vol.10, pp. 728-744. (in English).
19. Serreze M.C. Climatological aspects of cyclone development and decay in the Arctic. *Atmos.-Ocean*. 1995, Vol. 33, no. 1, pp. 1-23. (in English).