

УДК 911.3

А. В. Холопцев<sup>1</sup>  
Н. К. Кононова<sup>2</sup>

***Изменение суммарной  
продолжительности существования за  
летний сезон антициклонов над южными  
регионами Европейской территории  
России и устойчивость их  
множественно-регрессионных моделей***

<sup>1</sup> Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова», г. Севастополь  
e-mail: kholoptsev@mail.ru  
<sup>2</sup> ФГБУН «Институт географии РАН», г. Москва  
e-mail: ninakononova@yandex.ru

**Аннотация.** Выявлены особенности изменений суммарной продолжительности существования за летний сезон антициклонов над Южным, Приволжским и Северо-Кавказским федеральными округами России, которые проявились за 1899–2016 гг.

Определен набор аргументов линейных множественно-регрессионных моделей этих процессов, при которых их устойчивость к обновлению исходных данных является наибольшей. Подтверждена адекватность оценок рассматриваемых показателей, которые получены при использовании подхода к типизации макроциркуляционных процессов в Северном полушарии, предложенного Б. Л. Дзердзеевским.

**Ключевые слова:** устойчивость модели к обновлению исходных данных, суммарная длительность существования антициклонов, элементарный циркуляционный механизм, климатические индексы.

### **Введение**

Изменения суммарной длительности существования за летний сезон антициклонов (СПА) над любым регионом мира существенно влияют на состояние его ландшафтных комплексов, динамику рисков возникновения засух и пожаров, а также особенности функционирования многих секторов их экономики [15]. Поэтому совершенствование методик их моделирования и прогнозирования является актуальной проблемой не только климатологии, но также физической географии и других наук о Земле.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для экономически развитых и густонаселенных регионов мира, где за последние десятилетия выявлены устойчивые тенденции к уменьшению интенсивности выпадающих в них атмосферных осадков. В России к их числу относятся Южный федеральный округ (ЮФО), Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО), а также Приволжский федеральный округ (ПФО) [3, 11].

Один из способов оценки значений СПА для некоторого региона основан на анализе приведенных к уровню Мирового океана приземных суточных синоптических карт для Северного полушария, на которых области повышенного атмосферного давления оконтуривает изобара 1015 гПа. В соответствии с ним решение о существовании над изучаемым регионом антициклона в те или иные сутки принимается, если область, охватываемая данной изобарой, включает также границы изучаемого региона. Проблемы при его применении возникают в случаях, когда над одной частью этого региона атмосферное давление повышено, а над другой в те же сутки оно понижено. В подобных случаях подобное решение может быть ошибочным.

При оценке значений СПА может быть также применен подход к типизации макроциркуляционных процессов в Северном полушарии, который предложен Б. Л. Дзердзеевским [5]. Согласно этому подходу, всему множеству существующих здесь структур атмосферной циркуляции поставлено в соответствие 41 типичное расположение в полушарии областей повышенного и пониженного атмосферного давления, названное элементарными циркуляционными механизмами (ЭЦМ).

Каждый ЭЦМ отличается от прочих синоптическим положением над Арктикой, расположением в Северном полушарии областей высокого и низкого давления, а также траекториями, по которым в его высокие широты входят южные циклоны, а в низкие широты происходят вторжения арктического воздуха [6].

Для каждого ЭЦМ определена его динамическая схема [6, 12], сопоставление которой с границами изучаемого региона позволяет установить, существует ли в период его действия здесь антициклон, либо нет. Подобное сопоставление позволяет для каждого такого региона установить все ЭЦМ, при которых над ним повышено атмосферное давление.

Для каждого ЭЦМ установлены значения продолжительности его действия в том или ином месяце, который относится к периоду с января 1899 по декабрь 2016 г. [24]. Поэтому установление перечня ЭЦМ, при которых над регионом существует антициклон, позволяет для каждого года из этого периода вычислить соответствующее СПА.

При осуществлении данного способа также могут возникать ошибки, поскольку некоторые предусмотренные им процедуры и ныне выполняются «вручную».

Для выявления и коррекции таких ошибок необходимо сопоставить получаемые результаты с оценками СПА, которые получены иными способами, менее подверженными влиянию «человеческого фактора». Поэтому немалый теоретический и практический интерес представляет разработка таких способов.

Одним из них может являться математическое моделирование изменений СПА с учетом факторов, информация о значениях которых может быть получена с помощью объективных методов. Если мониторинг изменчивости таких факторов осуществляется достаточно продолжительное время, для оценки значений рассматриваемого показателя может быть применен метод линейной множественной регрессии (ЛМР) [7]. Упомянутый метод является практически универсальным, тем не менее в задачах прогнозирования он применяется редко,

так как получаемые с его помощью модели зачастую обладают низкой устойчивостью к обновлению исходных данных [15].

Следует отметить, что указанная особенность ЛМР моделей ограничивает их применение не всегда. Их устойчивость к обновлению исходных данных может быть вполне приемлемой, если в качестве их аргументов учтены факторы, связанные с изучаемым процессом причинно [23].

Для такого процесса, как многолетний ход СПА, такие факторы пока не установлены, однако выявлены многие процессы, которые связаны с ним статистически значимо. Это позволяет предположить, что при использовании их в качестве аргументов соответствующих ЛМР моделей, последние также способны в какой-то мере сохранять свою устойчивость к обновлению исходных данных.

Подтверждение адекватности подобного предположения и выявление условий, при которых данные модели остаются устойчивыми, позволило бы использовать их для получения альтернативных оценок СПА в любом изучаемом регионе Северного полушария.

Учитывая это, целью настоящей работы является оценка возможности построения для многолетнего хода СПА над регионами России ЛМР-моделей, которые обладают устойчивостью к обновлению исходных данных, а также выявление сочетаний их аргументов, при которых их устойчивость является наибольшей.

Для достижения этой цели решены следующие задачи:

1. формирование временных рядов значений СПА над рассматриваемыми регионами России для летнего сезона, а также оценка их адекватности;
2. определение для каждого изучаемого региона перечня аргументов ЛМР модели многолетнего хода СПА(t), при которых она обладает наибольшей устойчивостью к обновлению исходных данных.

### **Материалы и методы**

Множественно-регрессионная модель некоторого процесса  $y(t)$  задается линейным уравнением [7]:

$$Y(t)=C_0+C_1*X_1(t)+C_2*X_2(t)+\dots+C_k*X_k(t), \quad (1)$$

здесь  $Y(t)$  – оценка значения  $y(t)$ , соответствующая году  $t$  ( $t$ -целое положительное число);

$k=0,1, 2 \dots N$ ;

$X_k(t)$  – значение аргумента модели с номером  $k$ , которое соответствует этому же году;

$C_k$  – коэффициент модели, значение которого определяется из уравнения:

$$C=A^{-1}B. \quad (2)$$

Здесь  $A$  квадратная матрица ранга  $N + 1$ , размерами  $(N + 1) \times (N + 1)$ , определяемая

$$\text{как } A = \begin{pmatrix} M & \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,1} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,1} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^M x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,1}x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,2}x_{i,N} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N}x_{i,N} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$B$  –  $N + 1$  мерный вектор столбец, определяемый соотношением:

$$B = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^M y_i \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,N} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$A^{-1}$  – матрица, обратная по отношению к  $A$ ;

$M$  – длина фрагментов временных рядов изучаемого процесса и его факторов, учитываемых при вычислении коэффициентов  $s_k$ .

Величины  $y_k$ , используемые для оценки элементов вектора  $B$ , представляют собой значения  $y(t)$  для части временного интервала, охваченного наблюдениями этого процесса, которая используется для верификации модели (1). Остаток того же интервала может быть использован для оценки ее устойчивости к обновлению исходных данных.

Очевидно, что для верификации такой модели необходимо располагать временными рядами изучаемого процесса и  $N$  его факторов (которые не являются линейно зависимыми) длиной  $M > N$ . Следовательно, начальным этапом подобного моделирования должно являться формирование для каждого изучаемого региона достаточно длинного временного ряда СПА, который может быть использован при верификации указанной модели, а также оценки ее устойчивости.

Поскольку оценки СПА, образующие этот ряд, могут содержать ошибки, необходимым этапом является оценка его адекватности.

В данной работе при формировании ряда СПА для каждого изучаемого региона использована методика, основанная на применении подхода к типизации макроциркуляционных процессов, которая предложена Б. Л. Дзердзеевским.

Перечень ЭЦМ, при которых антициклон существует над тем или иным изучаемым регионом, определен путем сопоставления соответствующих динамических схем с расположениями его границ. Временной ряд СПА определен как сумма рядов месячных продолжительностей действия ЭЦМ [24], вошедших в этот перечень, за июнь, июль и август.

При оценке значений данных показателей учитывалось, что существование антициклона над любым изучаемым регионом в течение всего лишь одних или двух суток на изменения состояния его экосистем практически не влияет. Поэтому при оценке СПА принимались во внимание лишь те «включения» выявленных ЭЦМ, при которых продолжительность непрерывного существования антициклона над рассматриваемым регионом составляла 3 суток и более.

Учитывалось также, что в результате «выключения» некоторого ЭЦМ, при котором над рассматриваемой территорией существовал антициклон, «включается» какой-либо иной ЭЦМ. При этом антициклон над регионом может либо прекратить свое существование, либо продолжить его. В последнем случае при определении СПА, продолжительности периодов действия соответствующих ЭЦМ необходимо суммировать. В случаях, когда антициклон возникал в одном сезоне, а разрушался в другом, при определении соответствующего значения СПА вся продолжительность периода его существования относилась к летнему сезону, если к нему принадлежала большая его часть.

При оценке адекватности сформированных рядов СПА учитывалось, что чем больше значение этого показателя, тем больше и среднее за соответствующий сезон значение атмосферного давления в репрезентативных пунктах соответствующего региона, а также в среднем на всей его территории. По указанной причине необходимыми условиями адекватности сформированного временного ряда СПА является наличие его положительной корреляции с временными рядами:

1) средних за тот же сезон значений атмосферного давления на каких-либо метеостанциях того же региона, оцененных по результатам фактических измерений;

2) значений того же показателя для некоторых узлов координатной сетки, расположенных в пределах его границ, которые установлены по результатам анализа.

Изучаемый ряд СПА признавался адекватным, если достоверность статистического вывода о значимости связи между любыми его фрагментами, длиной 11 лет и более, а также совпадающими по времени фрагментами указанных временных рядов превышала 95%.

Перечни метеостанций, расположенных на территориях ЮФО, ПФО и С-КФО, которые при проверке выполнимости первого из необходимых условий рассматривались как репрезентативные, приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Перечни репрезентативных метеостанций ЮФО, ПФО и С-КФО, а также периоды времени, для которых полученная на них информация содержится в [25]**

ЮФО					
	Метеостанция	Годы		Метеостанция	Годы
	Ростов-на-Дону	1936–2017		Армавир	1959–2017
	Волгоград	1937–2017		Майкоп	1973–2017
	Краснодар	1933–2017		Камышин	1953–2017
	Сочи (Адлер)	1959–2017	0	Элиста	1959–2017

	Таганрог	1959–2017	1	Новороссийск	1936–2017
	Симферополь	1936–2017	2	Керчь	1936–2017
ПФО					
	Самара	1949–2017		Оренбург	1933–2017
	Пермь	1933–2017		Пенза	1949–2017
	Саратов	1936–2017		Киров	1937–2017
	Ульяновск	1949–2013		Орск	1874–2017
	Ижевск	1957–2017			
С-КФО					
	Махачкала	1933–2017		Грозный	1949–2017
	Ставрополь	1959–2017		Невинномысск	1948–2017
	Владикавказ	1933–2017		Дербент	1959–2017

Как видно из таблицы 1, длина временных рядов рассматриваемых показателей для разных репрезентативных пунктов различна. Разными являются и значения числа степеней свободы таких рядов.

При выявлении пунктов, для которых корреляция временных рядов средних за тот или иной сезон значений атмосферного давления и соответствующих рядов СПА являлась положительной и значимой, в них скомпенсированы линейные тренды, после чего произведен корреляционный анализ [2].

Решение об адекватности рассматриваемого ряда СПА для некоторого пункта принималось, если значение коэффициента его корреляции с рядом средних за тот же сезон значений атмосферного давления в этом пункте превышало уровень 95% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента [10].

При проверке выполнимости второго необходимого условия адекватности аналогичный анализ выполнен для всех пунктов Северного полушария, которые соответствуют узлам координатной сетки с шагом 2,5°.

Для каждого из этих пунктов временной ряд средних за сезон значений атмосферного давления сформирован с использованием соответствующих результатов реанализа [26], которые соответствуют различным частям периода 1950–2016 гг. длиной 11 лет и более.

Полученные результаты также сравнивались с уровнем 95% порога достоверной корреляции, который определялся с учетом соответствующих значений числа степеней их свободы [2]. Они отображены на контурной карте Северного полушария с использованием метода триангуляции Делоне [14].

Методика решения второй задачи также предполагала его осуществление в два этапа. На первом этапе определялся состав множества потенциально значимых факторов изучаемых процессов, а на втором среди них производился выбор набора аргументов множественно-регрессионной модели каждого изучаемого процесса, при котором она обладала наибольшей устойчивостью к обновлению исходных данных.

На первом этапе ее решения учитывались современные представления о факторах, способных в наибольшей степени влиять на атмосферную циркуляцию

в Европейском секторе Северного полушария [4, 17]. Из них следует, что к числу этих факторов могут относиться различные глобальные, крупномасштабные, региональные и ландшафтные процессы. Информация о состояниях глобальных и крупномасштабных процессов, характеристиками которых являются соответствующие глобальные климатические индексы, получена с использованием вполне объективных методов и представлена в [27].

Для региональных и ландшафтных процессов столь же достоверная информация об их состояниях имеется не всегда. Вследствие последнего предполагалось, что в качестве аргументов ЛМР модели многолетнего хода СПА могут рассматриваться одни лишь глобальные и крупномасштабные процессы, влияние которых является значимым и преобладающим. При их выявлении, в скользящем окне длиной 60 лет, изучались корреляционные связи временных рядов соответствующих индексов с рядом СПА. Так определялись процессы, связи которых с рядом СПА с течением времени усиливались и в современном периоде являются статистически значимыми.

При формировании множества потенциально значимых факторов учитывалась возможность существования неатмосферных связей, вследствие чего перечисленные факторы могут влиять на рассматриваемые процессы не только непосредственно, но и с запаздыванием на 1–3 сезона.

Установлено, что для всех трех рассматриваемых регионов подобными свойствами обладают следующие процессы:

- изменения аномалий средних температур всей поверхности Северного полушария ( $T_{\text{Сев}}$ );
- изменения аномалий средних температур части поверхности Северного полушария, которую занимает суша ( $T_{\text{СС}}$ );
- изменения аномалий средних температур территории Европы ( $T_{\text{Е}}$ ) [17];
- изменения индекса Североатлантического колебания (САК) [20];
- вариации индекса НИНО 3,4 процесса Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) [9];
- изменения индекса Атлантической мультидекадной осцилляции (АМО) [18, 21];
- вариации индекса Тихоокеанского декадного колебания (ТДК) [22];
- изменения аномалий средних поверхностных температур северной и южной части внутритропической зоны Атлантики (ТНА и TSA) [19];
- вариации солнечной активности [1], характеристикой которой является поток солнечного радиоизлучения с длиной волны 10,7 см (Solar) [27].

Информация о вариациях за период с января 1850 г. по декабрь 2016 г. оценок среднемесячных значений  $T_{\text{Сев}}$ ,  $T_{\text{СС}}$ ,  $T_{\text{Е}}$ , а также индексов САК, ЭНЮК, ТДК, АМО представлена в [27]. Для климатических индексов Solar, TNA и TSA представлены там же временные ряды их значений начинаются с января 1950 г. По этим данным сформированы соответствующие временные ряды значений всех изучаемых индексов для периода 1950–2016гг., которые усреднены за тот или иной рассматриваемый сезон.

При выявлении набора из  $N$  аргументов ЛМР модели, при котором она обладает наибольшей устойчивостью к обновлению исходных данных, производилась ее верификация с использованием всех возможных фрагментов рассматриваемого ряда СПА длиной  $2N$ . Оценка устойчивости каждой из этих

моделей производилась для соответствующего следующего фрагмента ряда СПА длиной 14 лет.

Как меры устойчивости указанной модели в данной работе рассмотрены минимальное  $\Delta_{\max}$  и среднее  $\Delta_{\text{sr}}$  значение временного сдвига  $\Delta$  между окончанием фрагментов, входящих в ее состав временных рядов, использованных для их верификации, и окончанием обновленных рядов, при котором значение ошибки моделирования превосходит уровень удвоенного среднеквадратического отклонения результатов моделирования (СКО), оцененный при верификации. Среднее значение  $\Delta$  вычислялось для моделей верифицированных с использованием всех возможных фрагментов ряда СПА, наборы аргументов которых являются неизменными.

При выявлении наборов аргументов, для которых  $\Delta_{\max}$  и  $\Delta_{\text{sr}}$  являются максимальными, применен метод случайного поиска.

Подобные исследования проведены для каждого рассматриваемого региона России для летнего сезона.

### Результаты и обсуждения

В результате решения первой задачи установлены перечни ЭЦМ, в периоды действия которых над тем или иным рассматриваемым регионом существует антициклон. Сопоставление этих перечней показало, что территорий всех субъектов ЮФО, кроме Крыма и Кубани, а также для территории всего ПФО они совпадают. Поэтому далее указанные территории рассматриваются как единый объект исследования – ПФО и ЮФО. Установленные таким образом перечни ЭЦМ, при которых лето над изучаемыми регионами существуют антициклоны, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

#### Перечни ЭЦМ, при которых летом над рассматриваемыми регионами России существуют антициклоны

Рассматриваемые регионы	ЭЦМ, при которых летом существуют антициклоны
Крым и Кубань	2а, 2в, 3, 4а, 4б, 7а, 9а, 10а, 10б, 13л
СКФО	4а, 8а, 9а, 10а, 12а, 12бл
ПФО и ЮФО	2а, 2в, 3, 4а, 4в, 7ал, 9а, 10а, 10б, 12а, 12бл, 12вл, 13л

Из таблицы 2 видно, что перечни ЭЦМ, соответствующие рассматриваемым регионам России, заметно различаются.

При оценке адекватности сформированных временных рядов СПА определены значения коэффициента их корреляции с рядами средних за тот же сезон значений атмосферного давления в репрезентативных пунктах рассматриваемых регионов России.

Установлено, что для всех этих пунктов значения данного коэффициента положительны (первое необходимое условие выполняется). В то же время выбранный уровень значимости они превышают не везде.

Репрезентативные пункты СКФО, ПФО и ЮФО, для которых значения этого коэффициента положительны и превышают уровень соответствующего 95% порога по критерию Стьюдента, перечислены в таблице 3.

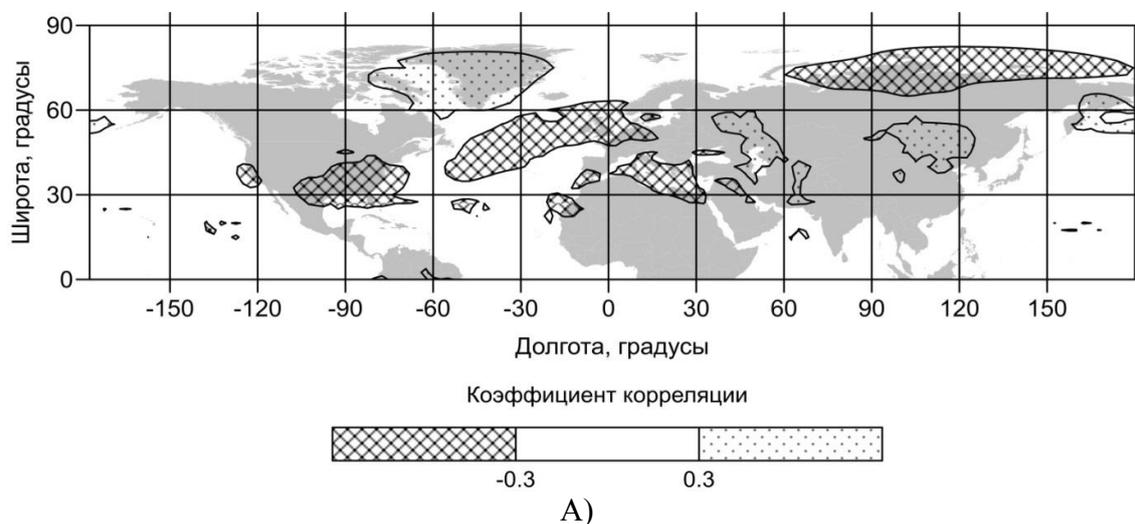
**Таблица 3.**

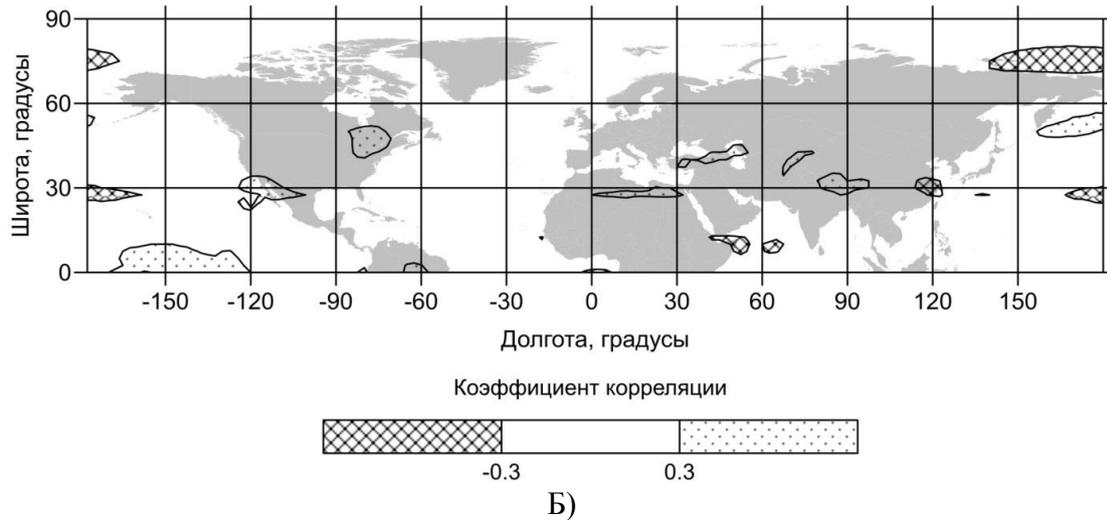
**Репрезентативные пункты, для которых корреляция временных рядов средних за сезон значений атмосферного давления, а также сформированных временных рядов СПА является значимой и положительной**

Федеральный округ	Репрезентативный пункт
СКФО	Махачкала, Дербент
ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани)	Элиста, Волгоград, Ульяновск, Самара, Оренбург, Саратов, Пенза, Киров

Из таблицы 3 следует, что сформированные временные ряды СПА могут быть адекватными как для ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани), так и для СКФО. Справедливость этого вывода подтверждает и анализ корреляционных связей различных фрагментов временных рядов СПА с совпадающими по времени фрагментами рядов результатов реанализа атмосферного давления в различных пунктах Северного полушария.

Области Северного полушария, в которых корреляция временных рядов за 1950–2016 гг. оценок СПА, которые соответствуют ПФО и ЮФО, а также СКФО, с рядами средних за летний сезон значений атмосферного давления, значима, отображены на рисунке 1.





**Рис. 1.** Области Северного полушария, где значения коэффициента корреляции временных рядов среднего за летний сезон атмосферного давления (по результатам реанализа [25]) за 1950–2016 гг. с рядами оценок СПА значимы А) ПФО и ЮФО; Б) СКФО.

Из рисунка 1А видно, что области значимой положительной корреляции временных рядов атмосферного давления в летний сезон для различных узлов координатной сетки с рядом оценок СПА для ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани) располагаются:

- в Европейском секторе (над республикой Калмыкия, Астраханской и Волгоградской областями ЮФО, над большей частью территории ПФО, восточной частью Центрального федерального округа, а также южными районами республики Коми и Архангельской области Северо-Западного федерального округа);
- в Сибирском секторе (над южными регионами Восточной Сибири, Монголией и Северным Китаем, а также Таджикистаном, Афганистаном и юго-западными районами Пакистана);
- в Дальневосточном секторе (над восточными районами Камчатки, южными районами Чукотки и омывающими их побережья акваториями Берингова моря)
- в Американском и Атлантическом секторе (над островами Гренландия, Баффинова Земля, а также морями Баффина и Лабрадор).

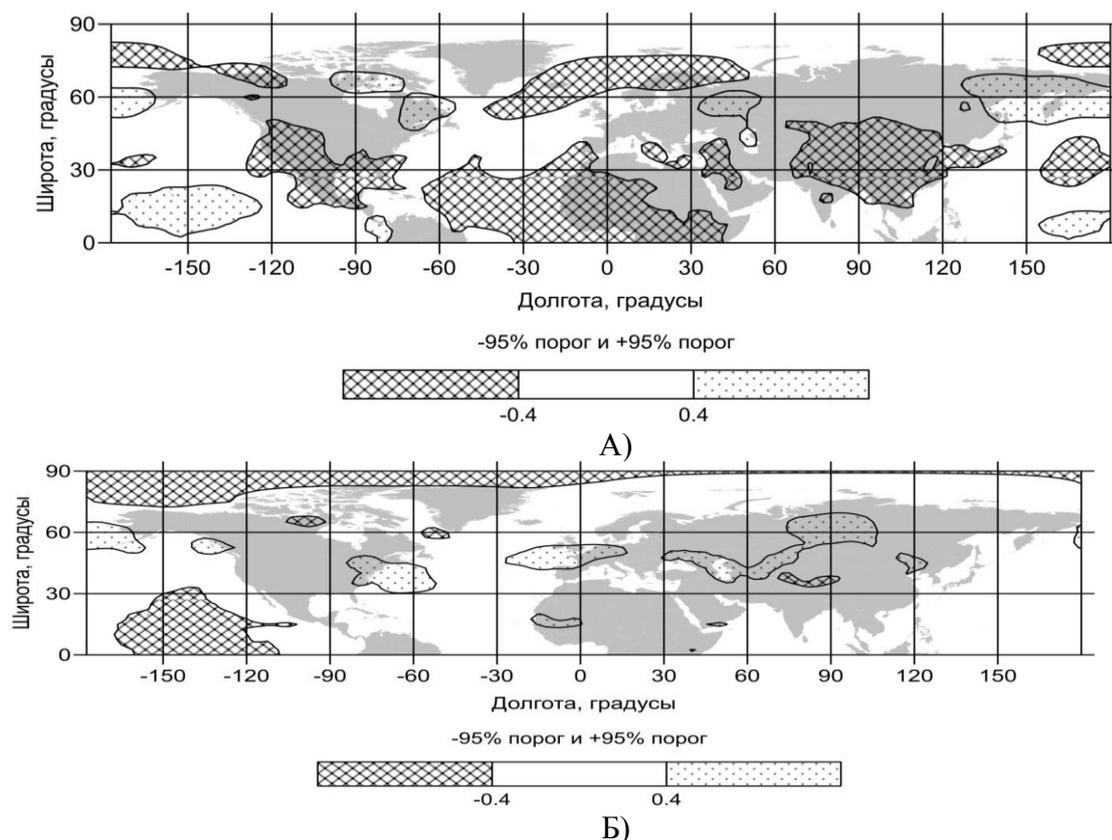
Из данного рисунка видно, что на значительной части ПФО и ЮФО межгодовые изменения среднего за летний сезон атмосферного давления значимо коррелированы с вариациями оценок СПА. Это подтверждает возможность того, что сформированный для данного региона временной ряд СПА является адекватным.

Следует отметить, что среди выявленных областей значимой корреляции присутствуют и те, для которых значения этого показателя отрицательны. В России такая область расположена над Ненецким и Таймырским автономным округом, а также северными районами республики Якутия (Саха).

Из рисунка 1Б следует, что области значимой положительной корреляции временных рядов средних за летний сезон значений атмосферного давления в различных узлах координатной сетки с совпадающим по времени рядом оценок СПА для СКФО располагаются:

- в Европейском секторе – над территорией СКФО и пустыней Сахара;
- в Сибирском секторе – над территориями Таджикистана и северных провинций Афганистана;
- в Дальневосточном секторе – над юго-западной частью Берингова моря;
- в Американском секторе – над провинцией Онтарио (Канада), штат Калифорния (США).

Анализ выполнимости рассматриваемого достаточного условия адекватности сформированных рядов СПА показал, что значимая положительная корреляция с теми же процессами существует и для любых их фрагментов длиной 11 лет и более. В качестве примера на рисунке 2 представлены расположения областей значимой положительной корреляции некоторых фрагментов этих рядов с совпадающими по времени рядами среднего за сезон атмосферного давления в пунктах Северного полушария.



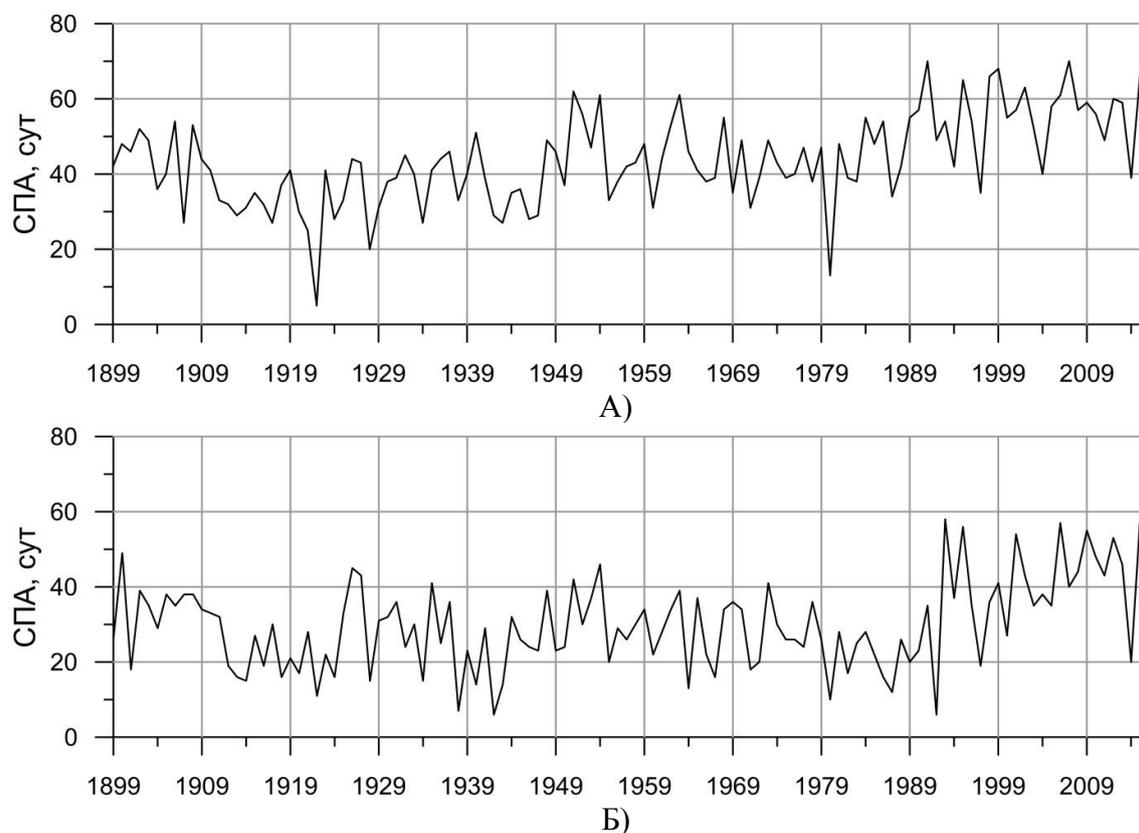
**Рис. 2.** Области Северного полушария, где значения коэффициента корреляции временных рядов среднего за летний сезон атмосферного давления (по результатам реанализа [25]) с рядами оценок СПА значимы

А) ПФО и ЮФО (1970–1980 гг.); Б) СКФО (1981–1996 гг.).

Из рисунка 2А видно, что, как и на рисунке 1А, одна из областей значимой положительной корреляции рассматриваемых процессов за 1970–1980 гг. располагается над северными районами ПФО, а также нижним Поволжьем (ЮФО). Рисунок 2Б подтверждает, что область значимой положительной корреляции СПА над СКФО и среднего за летний сезон атмосферного давления за 1981–1996 гг., как и на рисунке 1Б, включает в себя территорию СКФО.

Аналогичные особенности свойственны и любым другим фрагментам сформированных временных рядов длиной более 11 лет. Учитывая это, сформированные временные ряды СПА для ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани), а также СКФО могут быть признаны адекватными, а анализ их особенностей представляет теоретический и практический интерес.

Зависимости от времени СПА для ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани), а также СКФО, отображающие упомянутые временные ряды, представлены на рисунке 3.



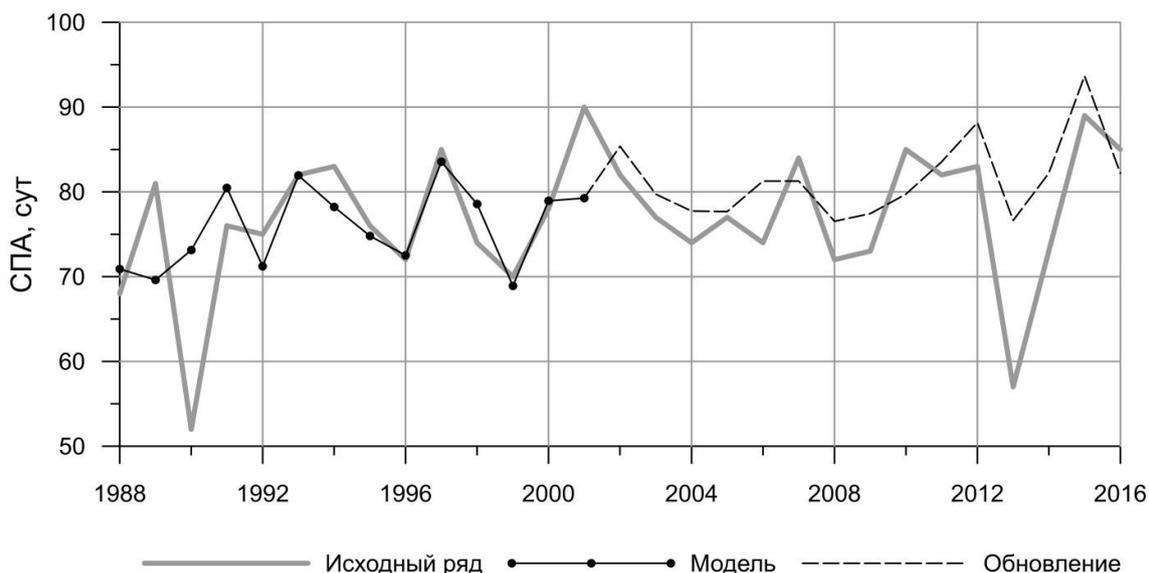
**Рис. 3.** Многолетний ход СПА за летний сезон  
А) ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани); Б) СКФО.

Из рисунка 3 видно, что многолетний ход СПА как над ПФО и ЮФО, так и над СКФО представляет собой сложное колебание, в спектре которого присутствуют составляющие с периодами единицы – десятки лет.

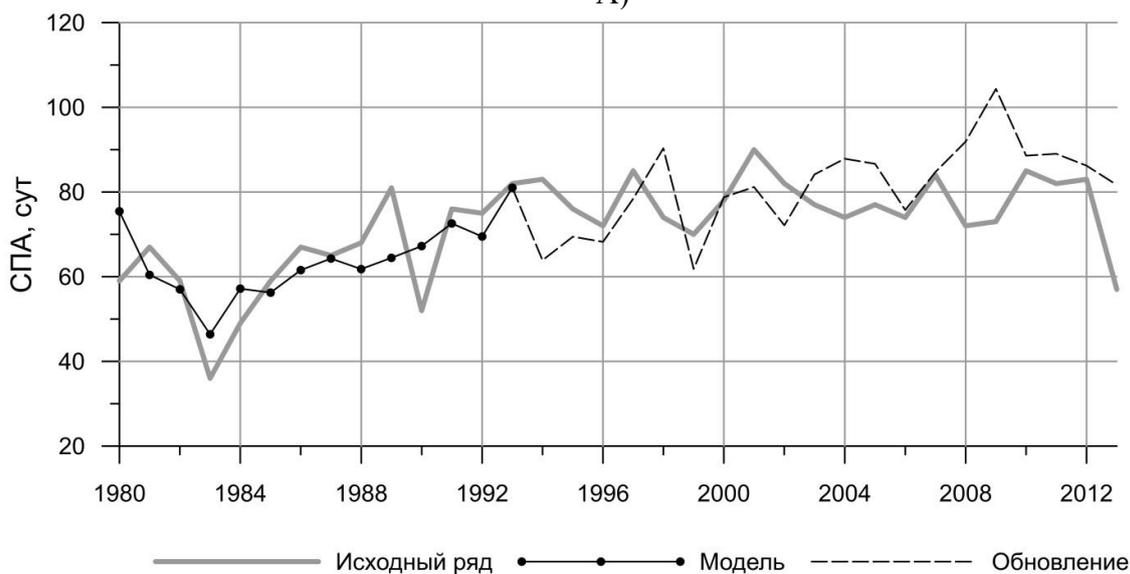
В период 1912–2016 гг. в изменениях СПА для ПФО и ЮФО присутствует возрастающий тренд с угловым коэффициентом ( $ук$ )  $=+0,02$  сут./год. При этом в 1989–2016 гг. вариации данного показателя происходят на практически

постоянном уровне. Для СКФО возрастающий тренд в изменениях рассматриваемого показателя присутствует в период с 1987 г. В период 1995–2016 гг. вариации данного показателя также происходят на практически неизменном уровне.

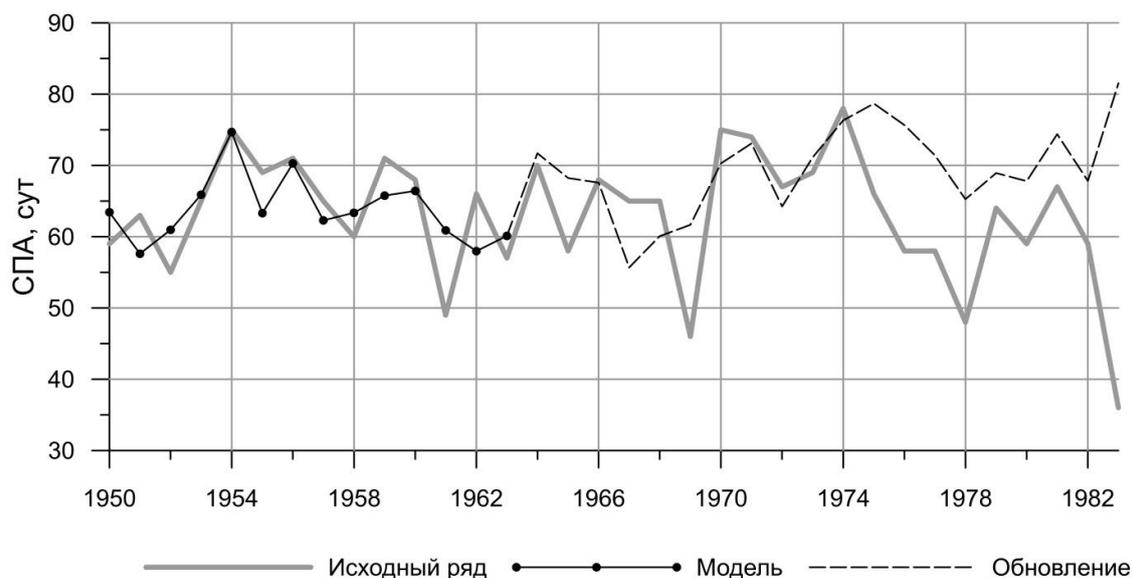
При решении второй задачи установлено, что оцененная по предложенному критерию устойчивость ЛМР модели многолетнего хода СПА над каждым из рассматриваемых регионов зависит не только от состава ее аргументов, но и от отрезка соответствующего временного ряда, использованного при ее верификации. В качестве примера на рисунке 4 приведены фрагменты оцененной с использованием рассмотренного подхода зависимости от времени СПА для ПФО и ЮФО, а также результаты ее моделирования на отрезке, использованном при верификации, а также в последующие годы.



А)



Б)



В)

**Рис. 4.** Зависимость от времени оцененных с помощью типизации по Дзержевскому СПА для ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани), а также результатов их моделирования на отрезке, использованном для верификации и в последующие годы

А)1988–2001 гг.; Б)1980–1993 гг.; В)1950–1963 гг.

Параметры моделей, представленных на рисунке 4, приведены в таблице 4.

**Таблица 4.**

**Параметры моделей (1), использованных при получении результатов моделирования, представленных на рисунке 4**

к	Аргумент	$C_k$		
		1988г.	1980г.	1950г.
1	АМО	-19,5143	150,486	98,45393
2	ТДК	-13,8683	-27,0392	2,197083
3	Нино3,4	1,444488	0,478983	3,206048
4	САК	3,337946	-3,70184	-0,96816
5	Тсс,	-3,30691	-10,4802	-0,40585
6	ТЕ,	54,15513	-45,9558	-120,997
		-41,7562	-29,2927	171,143

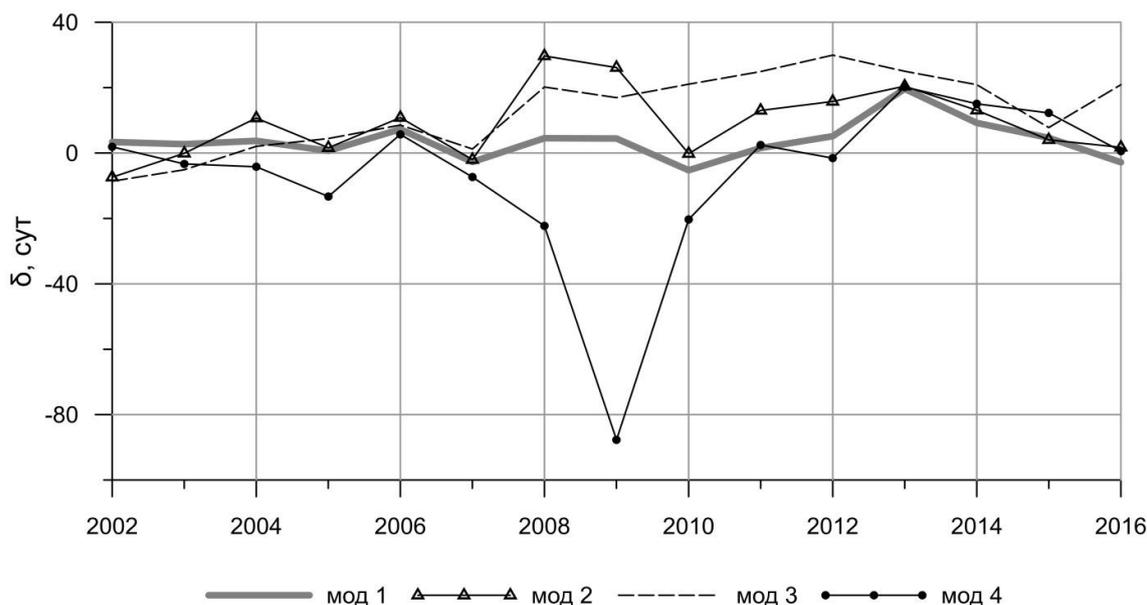
7	$T_{\text{Сев}}$	5,310446	154,804	-91,3364
	СКО (сут)	7,47841	8,932715	5,224027
	$\Delta$ (лет)	12	1	6

Из рисунка 4 видно, что между результатами моделирования, полученными с использованием модели (1), верифицированной с использованием фрагментов входящих в ее состав временных рядов, которые начинаются в разные годы, а также изменениями оценок рассматриваемых характеристик, существует удовлетворительное соответствие. При этом для модели, верифицированной по данным начинающимся с 1988 г., ошибка моделирования на обновленных данных не превышает уровень 2СКО при  $\Delta=12$  годам. Для прочих моделей значение этого показателя заметно меньше. Поэтому модель, верифицированная для данных, начинающихся с 1988 г., является наиболее устойчивой, а значимость всех учитываемых в ней факторов может быть признана максимальной на отрезке времени 1988–2012 гг. Аналогичные исследования показали, что для данной модели  $\Delta_{\text{max}}=12$  лет, а  $\Delta_{\text{sr}}=6$  лет.

Из рисунка 4 следует также, что для всех трех рассмотренных вариантов модели (1) случаи превышения абсолютными величинами их ошибок уровня 2СКО встречаются не только на обновленных данных, но и на данных, которые использованы для их верификации. Из этого следует, что выбранный критерий устойчивости модели (1) к обновлению исходных данных является достаточно «жестким», но вполне адекватным.

С использованием метода случайного поиска установлено, что наибольшие значения  $\Delta_{\text{max}}$  и  $\Delta_{\text{sr}}$ , а значит и максимальная устойчивость к обновлению исходных данных, характерны для модели с параметрами, представленными в таблице 3.

Учитывая, что наиболее важным для практики является наличие устойчивости рассматриваемых моделей (1) для современного периода, на рисунке 5 сопоставлены зависимости от времени ошибок моделирования ( $\delta$ , сут.), соответствующих различным моделям СПА для ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани), которые верифицированы с использованием фрагментов временных рядов длиной  $M=2N$ , завершающихся 2001 г.



**Рис. 5.** Зависимости от времени ошибок моделирования ( $\delta$ , сут.) многолетнего хода СПА над ПФО и ЮФО (без Крыма и Кубани) с использованием модели (1), которая верифицирована для периода 1988–2001гг. с использованием временных рядов аргументов, перечисленных в таблице 5.

**Таблица 5.**

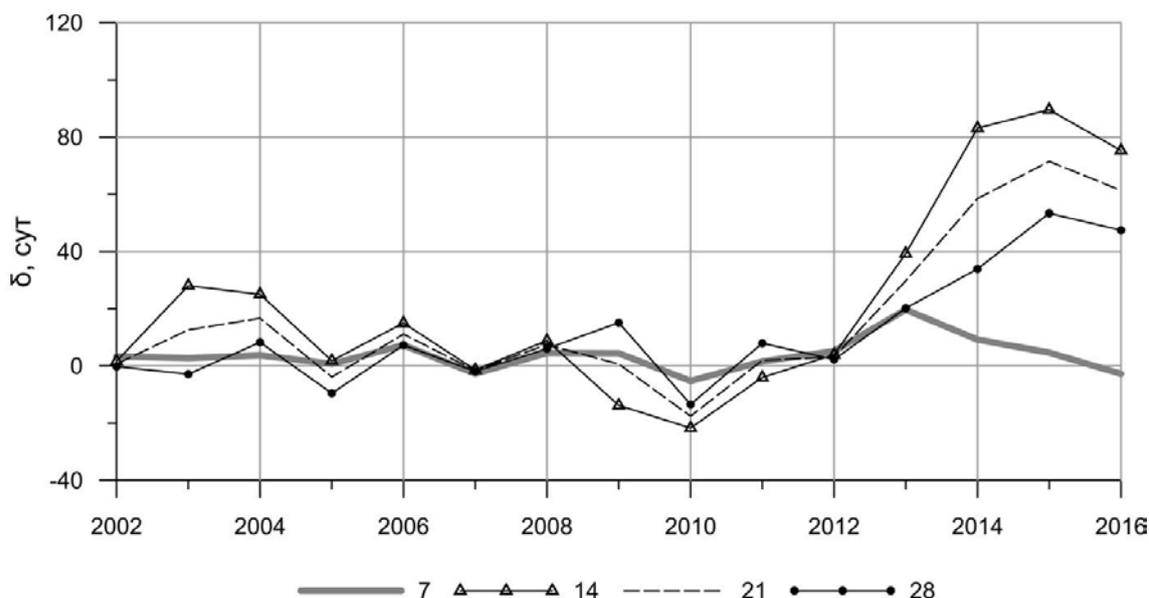
**Аргументы моделей (1), ошибки которых сопоставлены на рисунке 5**

	$X_1$	$X_1$	$X_1$	$X_1$	$X_1$	$X_1$	$X_1$	СКО
Мод 1	амо	тдж	нина-34	сак	$T_{Сев}$	ТЕ	$T_{сс}$	7,47
Мод 2	амо	тдж	нина-34	сак	$T_{Сев}$	ТЕ	СОЛАР	7,08
Мод 3	амо	tna	tsa	са	$T_{Сев}$	ТЕ	СОЛАР	7,87
Мод 4	амо-в*	тдж-в*	нина-34-в*	сак-в*	$T_{Сев-в}^*$	Те-в*	Те	6,93

\*- значения аргумента для весеннего сезона; -в\* их значения для осеннего сезона.

Из таблицы 4 и рисунка 5 следует, что значение СКО для модели (1) рассматриваемого процесса, где аргументами являются временные ряды средних за летний сезон индексов  $T_{Сев}$ ,  $T_{сс}$ , ТЕ, САК, Нино3,4, ТДК, АМО, не является наименьшим. В то же время значение выбранной меры устойчивости ( $\Delta=12$ ) для этой модели существенно больше, чем моделей с другими наборами аргументов.

Установлено также, что устойчивость модели (1) того же процесса является наивысшей, если в набор ее аргументов входят значения перечисленных индексов лишь для того же сезона. Как подтверждение этому на рисунке 6 сопоставлены ошибки моделирования ( $\delta$ , сут.) многолетнего хода СПА над ПФО и ЮФО для летнего сезона с использованием модели (1), аргументами которой являются ряды указанных показателей для того же, а также нескольких предыдущих сезонов.



**Рис. 6.** Зависимости от времени ошибок моделирования ( $\delta$ , сут.) многолетнего хода СПА над ПФО и ЮФО для летнего сезона с использованием модели (1), которая верифицирована с использованием данных за период 1988–2001 гг., для:

N=7 (аргументы – индексы  $T_{\text{Сев.}}$ ,  $T_{\text{СС}}$ ,  $T_{\text{Е}}$ , САК, Нино3,4, ТДК, АМО за летний сезон);

N=14 (аргументы – те же индексы за летний и весенний сезон);

N=21 (аргументы – указанные индексы за летний, весенний и зимний сезоны);

N=28 (аргументы – упомянутые индексы за летний, весенний и зимний сезоны, а также осенний сезон предшествующего года).

Из рисунка 6 очевидно, что наибольшей является устойчивость модели (1), в состав аргументов которой входят упомянутые показатели лишь для летнего сезона.

Аналогичные результаты получены и для СКФО. Из этого следует, что наиболее значимыми факторами многолетнего хода СПА для летнего сезона над данным регионом России являются изменения средних значений за те же сезоны индексов  $T_{\text{Сев.}}$ ,  $T_{\text{СС}}$ ,  $T_{\text{Е}}$ , САК, Нино3,4, ТДК и АМО.

Учитывая рассмотренные особенности выявленных моделей, которые обладают наибольшей устойчивостью, представляется возможным их практическое применение при оценке СПА над рассматриваемыми регионами России. В этом плане могут представлять интерес результаты их верификации с использованием данных за 2003–2016 гг., которые представлены в таблице 6.

Таблица 6.

**Коэффициенты  $S_k$  моделей (1) многолетнего хода СПА над ПФО и ЮФО, а также СКФО, которые верифицированы с использованием данных за 2003–2016 гг. и обладают наибольшей устойчивостью к обновлению исходных данных**

К	аргумент	С-КФО	ПФО и ЮФО
0		-42,7131	107,8078
1	Амо	-44,3685	4,008017
2	Тдж	6,081154	7,94797
3	нина-34	2,041439	-1,41464
4	Сак	-11,9721	-8,89549
5	ТСП	-636,077	93,2502
6	ТЕ	675,6407	-64,2042
7	Тс	-24,2655	-30,9795
	СКО	9,530704	2,260367
	К*	0,815104	0,95718

\*- коэффициент корреляции фактических изменений СДС AZn и результата их моделирования.

Как следует из полученных результатов, модели с параметрами, приведенными в таблице 5, могут быть устойчивы при временных сдвигах до 12 лет (в среднем – на 6 лет), что позволяет их использовать в задачах прогнозирования. При этом в качестве их аргументов необходимо рассматривать соответствующие прогнозы значений их аргументов.

Установлено, что подход к типизации макроциркуляционных процессов [5, 6] может быть использован для оценки значений СПА над рассматриваемыми регионами России. Возможно, применим он и во многих других регионах мира.

Вместе с тем из полученных результатов видно, что адекватными по предложенным критериям такие оценки могут быть не всегда. Так, в рассмотренном примере они адекватными не являются для Крыма и Кубани. Последнее проявляется в том, что область значимой положительной корреляции соответствующего ряда СПА, а также рядов средних за сезон значений атмосферного давления в различных узлах координатной сетки, находящихся в Северном полушарии, не пересекается с границами данных регионов.

Причиной подобных несоответствий могут быть не только ошибки, которые могут возникать при определении видов соответствующих ЭЦМ, но и различие методик построения синоптических карт, использованных в разные годы при составлении Календаря последовательной смены ЭЦМ. В период до 1997 г. эти карты строились «вручную», по фактическим данным, а начиная с 1.01. 1997 г. их строит компьютер по результатам реанализа.

Следовательно, при применении данного подхода для формирования временных рядов рассматриваемых показателей для любого другого региона мира необходимо осуществлять оценку их адекватности. Последнее может осуществляться с использованием изложенной выше методики.

Выявленные особенности отражают общие свойства множественно-регрессионных моделей [2, 6, 22], что свидетельствует о корректности полученных результатов.

Установленный набор факторов модели (1), который обеспечивает ее наибольшую устойчивость к обновлению исходных данных, в полной мере соответствует современным представлениям о наиболее существенных факторах изменчивости характеристик атмосферной циркуляции и атмосферного давления в континентальных регионах Северного умеренного климатического пояса [3, 16–21].

Из рисунков 2 и 3 видно, что сформированные в соответствии с ним временные ряды рассматриваемых показателей адекватны также для ряда других регионов мира, к которым относятся и некоторые территории России.

Из полученных результатов также следует, что в изменениях СПА для летних сезонов в ПФО и ЮФО (кроме Крыма и Кубани), а также СКФО, на значительных интервалах времени присутствуют возрастающие тренды, что может являться следствием потепления глобального климата, а также увеличения  $T_{\text{Сев}}$ ,  $T_{\text{СС}}$ ,  $T_{\text{Еи}}$  АМО. При этом на значительных отрезках времени, в том числе и в XXI веке изменения этих показателей происходят на постоянном и наиболее высоком за весь рассматриваемый период уровне.

Из этого понятно, что на каждой из рассматриваемых территорий количество суток за летний сезон, в течение которых над ней проходили циклоны (а также выпадали приносимые ими атмосферные осадки), устойчиво снижалось. В современном периоде оно изменяется на минимальном уровне. Поскольку последнее продолжается уже несколько десятилетий, представляется вероятным, что следствием данного процесса могут явиться изменения характеристик не только природной растительности, но и почв соответствующих регионов, а также их ландшафтов. Результатом этого может явиться также смещение к северу расположенных в них ландшафтных границ.

Выявленные особенности изменений регионального климата целесообразно учитывать при планировании социально-экономического развития данных регионов, а также аграрных секторов их экономики.

## **Выводы**

Таким образом, на примере ПФО, ЮФО и СКФО России показано, что:

1. подход к типизации макроциркуляционных процессов в Северном полушарии, который предложен Б. Л. Дзерdzeевским, может быть использован

для оценки СПА различных его регионах. При этом в некоторых случаях подобные оценки могут расходиться с результатами, которые получены на метеостанциях, расположенных в соответствующем регионе, а также с соответствующими данными реанализа;

2. наибольшей устойчивостью к обновлению исходных данных обладают ЛМР модели рассматриваемых процессов, аргументами которых являются значения индексов  $T_{\text{сев.}}$ ,  $T_{\text{сс}}$ ,  $T_{\text{е}}$ , САК, Нино3,4, ТДК, АМО за тот же сезон. Поэтому такие модели могут использоваться и при прогнозировании изменений СПА;

3. если в будущем закономерности, обуславливающие изменения упомянутых индексов, а также их связи с вариациями СДСАЗп над рассматриваемыми регионами России, сохранятся неизменными, то на территориях С-КФО, ПФО, а также относящихся к ЮФО республик Калмыкии, Адыгеи, областей Астраханской, Волгоградской, Ростовской и восточных районов Краснодарского края вероятно ощутимое повышение рисков возникновения летом засух.

### **Литература**

1. Абдусаматов Х. И. Солнце диктует климат Земли / Х. И. Абдусаматов. – Санкт-Петербург: Логос, 2009. – 197 с.
2. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – Москва: Юнити, 1998. – 1022 с.
3. Акимов В. А., Дурнев Р. А., Соколов Ю. И. Защита населения и территорий Российской Федерации в условиях изменения климата / В. А. Акимов, Р. А. Дурнев, Ю. И. Соколов. – Москва: ФГБУ ВНИИ ГОЧО (ФЦ), 2016. – 387с.
4. Бышев В. И. Глобальные атмосферные осцилляции в динамике современного климата / В. И. Бышев, В. Г. Нейман, Ю. А. Романов, И. В. Серых // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 62–71.
5. Дзердзеевский Б. Л., Курганская В. М., Витвицкая З. М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов / Б. Л. Дзердзеевский, В. М. Курганская, З. М. Витвицкая. – Тр. н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология; Вып. 21. Центральный институт прогнозов. Москва, Ленинград: Гидрометиздат, 1946. – 80 с.
6. Дзердзеевский Б. Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии / Б. Л. Дзердзеевский // Материалы метеорологических исследований. изд. ИГ АН СССР и Междувед. Геофиз. Комитета при Президиуме АН СССР. – М. – 1968. – 240 с.
7. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Изд-во «Вильямс», 2016. – 912 с.
8. Дымников В. П., Лыкосов В. Н., Володин Е. М. Проблемы моделирования климата и его изменений: современные проблемы / В. П. Дымников,

- В. Н. Лыкосов, Е. М. Володин // Вестник РАН. – 2012. – Том 82. – №3. – С. 227–236.
9. Железнова И. В., Гущина Д. Ю. Отклик глобальной циркуляции атмосферы на два типа Эль-Ниньо / И. В. Железнова, Д. Ю. Гущина // Метеорология и гидрология. – 2015. – №3. – С. 36–50.
  10. Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс. – М.: Мир, 1975. – 776 с.
  11. Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В., Черенкова Е. А. Динамика засух в Европейской России в ситуации глобального потепления / А. Н. Золотокрылин, В. В. Виноградова, Е. А. Черенкова // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб.: Гидрометеоздат, 2007. – Т.21. – С.160–181.
  12. Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзерdzeевскому / Н. К. Кононова. – М.: ИГ РАН; Воентехиниздат, 2009. – 372 с.
  13. Минаков И. А. Сравнительный анализ некоторых методов случайного поиска и оптимизации / И. А. Минаков // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. – 1999. – Т. 1. – № 2. – С. 286–293.
  14. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применения / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том.ун-та, 2002. – 128 с.
  15. Хьюбер П. Робастность в статистике / П. Хьюбер. – М.: Мир, 1984. – 304 с.
  16. Черенкова Е. А., Кононова Н. К. Анализ опасных атмосферных засух 1972 и 2010 гг. и макроциркуляционных условий их формирования на территории европейской части России / Е. А. Черенкова, Н. К. Кононова // Труды ГГО. – 2012. – Вып. 565. – С.165–187.
  17. Climate Change: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC)[Текст] // Cambridge University Press. – Cambridge. UK. – 2007. – 973 p.
  18. Enfield D. B., Mestas-Nunez F. M., Trimble P. J. The Atlantic multidecadal oscillation and it's relation to rainfall and river flows in the continental U.S. Geophysical Research Letters. Vol.28. 2001. P. 2077–2080.
  19. Enfield D. B., Mestas-Nunez F. M., Mayer D. A., Cid-Serrano L. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? // Journal of Geophysical Research. 1999. – Vol. 104. – № C4. – P. 7841–7848.
  20. Hurrell James W. The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact // American Geophysical Union. – 2003. – 279 p.
  21. Mann M., Steinman B. A., Miller S. K. On forced temperature changes, internal variability, and the AMO // Geophysical Research Letters. – №41. – 2014. – P. 3211–3219.
  22. Mantua Nathan J., Hare Steven R. "The Pacific Decadal Oscillation" / Mantua Nathan J., Hare Steven R. // Journal of Oceanography. 58 (1). 2002. – P. 35–44.
  23. Rand R. Wilcox: Introduction to robust estimation and hypothesis testing.[Текст] / Rand R. Wilcox. – Academic Press:San Diego Cal, 1997. – 296p.
  24. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.atmospheric-circulation.ru>

25. База данных о значениях атмосферного давления и других метеопараметров на различных метеостанциях мира, передающих результаты своих наблюдений Всемирной Метеорологической организации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: - [http:// www. tituempo.net/en/Climate](http://www.tituempo.net/en/Climate)
26. База данных. Результаты реанализа среднесуточных значений атмосферного давления [Электронный ресурс]. Режим доступа: <ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis.dailyavgs/surface/>
27. База данных NOAA о значениях глобальных климатических индексов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>

A. V. Holoptsev<sup>1</sup>  
N. K. Kononova<sup>2</sup>

***The changes of the total duration of existence for the summer season of anti-cyclons over the the southern regions of the European territory of Russia and stability of their multiple-regression models***

---

<sup>1</sup> Sevastopol branch of State Oceanographic Institute named after N. N. Zubov

e-mail: [kholoptsev@mail.ru](mailto:kholoptsev@mail.ru)

<sup>2</sup> Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences

e-mail: [ninakononova@yandex.ru](mailto:ninakononova@yandex.ru)

**Abstract.** *The peculiarities of the changes in the total duration of the existence of the anticyclones over the Southern, Volga and North-Caucasian Federal Districts of Russia during the summer of 1899-2016 have been revealed.*

*The combination of the arguments of linear multiple-regression models of these processes is determined, under which their resistance to updating the initial data is the greatest, is determined. The adequacy of the assessments of the indicators under consideration, which was obtained using the approach to the typification of macrocirculatory processes in the Northern Hemisphere, proposed by BL Dzerdzevsky was confirmed.*

**Keywords:** *stability of the model for updating the initial data, total duration of the existence of anticyclones, elementary circulation mechanism, climatic indices.*

**References**

1. Abdusamatov H. I. Solnce diktuet klimat Zemli / H. I. Abdusamatov. – Sankt-Peterburg: Logos, 2009. – 197 s.
2. Ajvazyan S. A., Mhitaryan V. S. Prikladnaya statistika i osnovy ehkonometriki / S. A. Ajvazyan, V. S. Mhitaryan. – Moskva: YUniti, 1998. – 1022 s.
3. Akimov V. A., Durnev R. A., Sokolov YU. I. Zashchita naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii v usloviyah izmeneniya klimata / V. A. Akimov, R. A. Durnev, YU. I. Sokolov. – Moskva: FGBU VNII GOCHO (FC), 2016. – 387s.

4. Byshev V. I. Global'nye atmosferynye oscillyacii v dinamike sovremennogo klimata / V. I. Byshev, V. G. Nejman, YU. A. Romanov, I. V. Seryh // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014. – T. 11. – № 1. – S. 62–71.
5. Dzerdzevskij B. L., Kurganskaya V. M., Vitvickaya Z. M. Tipizaciya cirkulyacionnyh mekhanizmov v severnom polusharii i harakteristika sinopticheskikh sezonov / B. L. Dzerdzevskij, V. M. Kurganskaya, Z. M. Vitvickaya. – Tr. n.-i. uchrezhdenij Gl. upr. gidrometeorol. sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2. Sinopticheskaya meteorologiya; Vyp. 21. Central'nyj institut prognozov. Moskva, Leningrad: Gidrometizdat, 1946. – 80 s.
6. Dzerdzevskij B. L. Cirkulyacionnye mekhanizmy v atmosfere Severnogo polushariya v HKH stoletii / B. L. Dzerdzevskij // *Materialy meteorologicheskikh issledovanij*. izd. IG AN SSSR i Mezhdoved. Geofiz. Komiteta pri Prezidiume AN SSSR. – M. – 1968. – 240 s.
7. Drejper N., Smit G. Prikladnoj regressionnyj analiz / N. Drejper, G. Smit. – M.: Izd-vo «Vil'yams», 2016. – 912 s.
8. Dymnikov V. P., Lykosov V. N., Volodin E. M. Problemy modelirovaniya klimata i ego izmenenij: sovremennye problemy / V. P. Dymnikov, V. N. Lykosov, E. M. Volodin // *Vestnik RAN*. – 2012. – Tom 82. – №3. – S. 227–236.
9. ZHeleznova I. V., Gushchina D. YU. Otklik global'noj cirkulyacii atmosfery na dva tipa EHI'-Nin'o / I. V. ZHeleznova, D. YU. Gushchina // *Meteorologiya i gidrologiya*. – 2015. – №3. – S. 36–50.
10. Zaks SH. Teoriya statisticheskikh vyvodov / SH. Zakr. – M.: Mir, 1975. – 776 s.
11. Zolotokrylin A. N., Vinogradova V. V., CHerenkova E. A. Dinamika zasuh v Evropejskoj Rossii v situacii global'nogo potepneniya / A. N. Zolotokrylin, V. V. Vinogradova, E. A. CHerenkova // *Problemy ehkologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ehkosistem*. – SPb.: Gidrometeoizdat, 2007. – T.21. – S.160–181.
12. Kononova N. K. Klassifikaciya cirkulyacionnyh mekhanizmov Severnogo polushariya po B. L. Dzerdzevskomu / N. K. Kononova. – M.: IG RAN; Voentekhnizdat, 2009. – 372 s.
13. Minakov I. A. Sravnitel'nyj analiz nekotoryh metodov sluchajnogo poiska i optimizacii / I. A. Minakov // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj Akademii nauk*. – 1999. – T. 1. – № 2. – S. 286–293.
14. Skvorcov A. V. Triangulyaciya Delone i ee primeneniya / A. V. Skvorcov. – Tomsk: Izd-vo Tom.un-ta, 2002. – 128 s.
15. H'yuber P. Robastnost' v statistike / P. H'yuber. – M.: Mir, 1984. – 304 s.
16. CHerenkova E. A., Kononova N. K. Analiz opasnyh atmosferynyh zasuh 1972 i 2010 gg. i makrocirkulyacionnyh uslovij ih formirovaniya na territorii evropejskoj chasti Rossii / E. A. CHerenkova, N. K. Kononova // *Trudy GGO*. – 2012. – Vyp. 565. – S.165–187.
17. Climate Change: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working GroupII to Assesment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC)[Tekst] // Cambridge University Press. – Cambridge. UK. – 2007. – 973 p.

18. Enfield D. B., Mestas-Nunez F. M., Trimble P. J. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*. Vol.28. 2001. P. 2077–2080.
19. Enfield D. B., Mestas-Nunez F. M., Mayer D. A., Cid-Serrano L. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures? // *Journal of Geophysical Research*. 1999. – Vol. 104. – № C4. – R. 7841–7848.
20. Hurrell James W. The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact // *American Geophysical Union*. – 2003. – 279 p.
21. Mann M., Steinman B. A., Miller S. K. On forced temperature changes, internal variability, and the AMO // *Geophysical Research Letters*. – №41. – 2014. – R. 3211–3219.
22. Mantua Nathan J., Hare Steven R. "The Pacific Decadal Oscillation" / Mantua Nathan J., Hare Steven R. // *Journal of Oceanography*. 58 (1). 2002. – R. 35–44.
23. Rand R. Wilcox: Introduction to robust estimation and hypothesis testing. [Текст] / Rand R. Wilcox. – Academic Press: San Diego Cal, 1997. – 296r.
24. Kolebaniya cirkulyacii atmosfery Severnogo polushariya v HKH – nachale XXI veka [Электронный ресурс] / Rezhim dostupa: <http://www.atmospheric-circulation.ru>
25. Baza dannyh o znacheniyah atmosfernogo davleniya i drugih meteoparametrov na razlichnyh meteostanciyah mira, peredayushchih rezul'taty svoih nablyudenij Vsemirnoj Meteorologicheskoy organizacii. [Электронный ресурс]. Rezhim dostupa: - [http:// www. tituempo.net/en/Climate](http://www.tituempo.net/en/Climate)
26. Baza dannyh. Rezul'taty reanaliza srednesutochnyh znachenij atmosfernogo davleniya [Электронный ресурс]. Rezhim dostupa: <ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis.dailyavgs/surface/>
27. Baza dannyh NOAA o znacheniyah global'nyh klimaticheskikh indeksov [Электронный ресурс]. Rezhim dostupa: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>

*Поступила в редакцию 21.01.2016 г.*