

УДК 551.510

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АНТАРКТИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ

Тимофеев В. Е.

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України і НАН України  
03028, Київ, проспект Науки 37, tvvlad@mail.ru*

**Реферат.** Исследована временная устойчивость и преобразование атмосферных процессов летнего и зимнего сезонов при помощи Марковского процесса. Показано, что начальное состояние атмосферы может быть представлено полем давления первого класса вероятности (наиболее вероятным). Наиболее простое преобразование реализуется в месяцы летнего и зимнего сезонов с положительной аномалией температуры воздуха и состоит в прохождении серии циклонов, разделенных подвижным гребнем. Временная устойчивость элементарного синоптического процесса, связанного с эталонными полями, больше в зимний сезон, причем синоптические процессы первого класса более устойчивы, чем второго. Определенная стабильность крупномасштабных объектов циркуляции позволяет выделить относительно длительную направленность развития синоптических процессов и учитывать ее при построении схемы прогноза на средние сроки (3–10 дней).

**Закономірності перетворення атмосферної циркуляції у західному секторі Антарктики і застосування для прогнозу погодних умов**

Тимофеев В. Є.

**Реферат.** Досліджено часову стійкість і перетворення атмосферних процесів літнього та зимового сезонів за допомогою Марківського процесу. Показано, що початковий стан атмосфери може бути представлено полем тиску першого класу ймовірності (найбільш вірогідним). Найбільш просте перетворення реалізується в місяці літнього і зимового сезонів з додатною аномалією температури повітря і складається в проходженні серії циклонів, розділених рухомим гребенем. Часова стійкість елементарного синоптичного процесу, пов'язаного з еталонними полями, більша в зимовий сезон, причому синоптичні процеси першого класу більш стійкі, ніж другого. Певна стабільність великомасштабних об'єктів циркуляції дозволяє виділити відносно тривалу спрямованість розвитку синоптичних процесів і врахувати її при побудові схеми прогнозу на середні терміни (3–10 днів).

**Transformations in the atmospheric circulation in the West Antarctic sector and Applications for the weather forecasts**

Timofeuev V. E.

**Abstract.** Temporal Stability and transformation in the atmospheric circulation in summer and winter seasons is studied by means of assistance Markov's process. It is shown that initial state atmosphere can be presented by the most probable

pressure field. The simplest transformation is realized in the months with positive air temperature anomaly and comprises in series of cyclones, along with migrative wedges. Temporal stability of an individual synoptic process, associated with the etalon pressure fields is found to be longer in the winter season, and the most probable pressure fields are more stable than the others. Temporal stability of the large-scale circulation subjects allows us to show dynamic evolution, and to take it into account when developing a scheme of middle-range forecast methods (3–10 days in advance).

## **1. Введение. Особенности циркуляции атмосферы Антарктики и района Антарктического полуострова**

К настоящему времени основные черты крупномасштабной циркуляции атмосферы Южной полярной области изучены достаточно хорошо, причем известно, что она в целом проще, чем в Северном полушарии. Западно-восточный перенос в умеренных широтах Южного полушария более интенсивен, с наличием пояса низкого давления в Южной полярной области (ЮПО), что обуславливает меньшую интенсивность антициклонального блокирования (Воскресенский, 1980, Trenberth 1985, Tibaldi, 1994, Sinclair, 1996, Мартазинова и др., 2010). Практически все барические образования перемещаются здесь над океанской поверхностью, ограниченной с крайнего юга ледниковым барьером или горными системами Антарктиды. Как правило, климатические ложбины (циклоны) ориентируются к вогнутостям береговой линии Антарктиды (моря Росса, Беллинсгаузена, Уэдделла), а гребни – к выпуклостям (Антарктический полуостров, Земля Элсзурта, Земля Мери Берд, Земля Королевы Мод).

Изменение климата в Южной полярной области связывают прежде всего с изменением в атмосферной циркуляции (Груза и др., 1996, Fyfe, 2003, Кононова и др., 2007, Turner et al., 2009, Мартазинова и др., 2010, Marshall et al., 2011). Детальное изучение регионального климата стало возможным со второй половины 1950-х годов, когда за время МГТ 1957 – 1959 гг. сформировалась сеть постоянно действующих станций. По результатам исследований Г. М. Таубер впервые охарактеризовал центры действия атмосферы (ЦДА) в поясе пониженного давления вокруг Антарктиды, С. С. Гайгеров впервые описал вертикальное строение тропосферы и нижней стратосферы, а также были установлены условия формирования стоковых ветров (Атлас Антарктики, 1969). Однако, как показано в (Говоруха и др., 2003, Кононова и др., 2007, Мартазинова и др., 2008), 1950-е и 1960-е гг. относятся к другим климатическим условиям по сравнению с современным состоянием.

Детализация атмосферных процессов со сравнением особенностей в обоих полушариях земли проведена в (Дзержевский, 1977). Он установил связность атмосферных процессов Северного и Южного полушарий, а также обосновал гляциологически эффективные «элементарные циркуляционные механизмы», которые способствуют аккумуляции и абляции твердых осадков, что актуально для полярных и горных районов (Грищенко и др., 2005). Одним из первых он указал, что «... в связи с многолетними колебаниями ОЦА нужно иметь набор средних климатических данных по циркуляционным эпохам, поскольку одна средняя многолетняя величина за весь период наблюдений любой метеорологической величины, приведенная в справочниках, не вполне характеризует особенности современного климата». Это положение особенно актуально сейчас, когда циркуляционные процессы в эпоху потепления значительно изменились по сравнению с серединой XX века. На их фоне в ряде регионов неоднократно повторялись редкие погодные явления, вероятность возникновения которых в среднем очень мала. В типизации Б. Л. Дзержевского выделен тип меридиональной южной циркуляции с необычным положением циклона на полюсе, отсутствием блокирующих процессов – прообраз циркумполярной циркуляции, которая присуща атмосфере Южного полушария.

Обобщение форм циркуляции составило одну из первых типизаций синоптических процессов в Антарктике, выполнена Г. Я. Рыжаковым по традиционным методикам Г. Я. Вангенгейма (Рыжаков, 2002). Все атмосферные процессы Южного полушария обобщены в три формы циркуляции: зональную и две меридиональные. В отличие от Северного полушария, на среднем уровне в Южном полушарии преобладает синоптическая волна с волновым числом 4 по количеству ложбин и гребней. Уже на современном этапе исследования это было подтверждено, причем отмечается смена преобладающей волновой структуры между разными климатическими эпохами (Connolley, 1997).

В новейшем Атласе океанов 2005 г. представлены типы циркуляции, а также многолетний ход форм циркуляции по Г. Я. Вангенгейму с выводом о смене циркуляционных эпох в конце XX века,

что может знаменовать переход климатической системы в новое состояние (Атлас океанов, 2005). Преимущество в том, что исследования проводились по единой методике, а недостаток – типизация основывается на визуальном подходе, не учитывая современного изменения атмосферной циркуляции, т.е. новые формы могут быть не распознаны.

При исследовании причин изменения климата в монографиях (Сидоренков, 2002, Дмитриев и др., 2006) отдается предпочтение естественным внешним (геофизическим) климатообразующим факторам, которые в том числе определяют состояние атмосферной циркуляции.

Ранее в работах автора проведена классификация форм атмосферной циркуляции по классам вероятности, позволившая впервые выявить современный характер синоптических процессов в различные сезоны над сектором западной Антарктики и Антарктическим полуостровом (Тимофеев и др., 1996, Мартазинова и др., 2010).

Получено преобразование полей атмосферного давления от десятилетия к десятилетию в зимний и летний сезоны 1971–2010 гг. и рассмотрены особенности пространственно-временной структуры полей давления на среднем уровне тропосферы в ЮПО с уточнением центров действия атмосферы в ЮПО, прежде всего тех, что определяют климат Антарктического полуострова. Смещение основных ЦДА к востоку вместе с усилением зонального потока является крупномасштабным фоном, на котором произошло повышение приземной температуры воздуха на станциях в районе Антарктического полуострова. Потепление в наибольшей степени проявилось на окружающей территории станции Академик Вернадский за счет большей обеспеченности и временной устойчивости наиболее вероятного синоптического процесса с циклоном в море Беллинсгаузена, обеспечивающем адвекцию теплого влажного воздуха (Говоруха и др., 2003, Turner et al., 2009, Franzke, 2013). При этом большинство авторов склоняются к выводу о том, что недавнее потепление – это результат изменения циркуляции атмосферы, в первую очередь за счет природного фактора (Дмитриев и др., 2006, Кононова и др., 2007, Фролов и др., 2007, Мартазинова и др., 2008). В свою очередь, повышение температуры воздуха привело к разрушению регионального оледенения (Vaughan et al, 1996).

## 2. Методика и используемые материалы

Классификация полей давления по классам вероятности проводилась с использованием двух критериев подобия:  $\rho$  – геометрического (на основе знака аномалии между полями давления) и среднего квадрата расстояния между полями в целом согласно (Зверев, 1970, Багров, 1983, Martazinova, 2005). На первом этапе в каждом месяце определяется наиболее вероятное (эталонное) барическое поле и класс наиболее вероятных полей, при условии  $\rho \geq 0,3$  и  $\eta \leq 1$ . Однако в процессе исследования выяснилось, что барические поля ЮПО характеризуются большой степенью сглаженности, особенно в летний сезон, что приводит к значительному подобию полей давления. Поэтому при классификации были несколько пересмотрены пороги критерия аналогичности. Для летнего сезона синоптические ситуации являются аналогами и относятся к одному классу, если  $\rho \geq 0,3$  и  $\eta \leq 1$ . Более подробно процедура классификации описана в (Martazinova, 2005, Мартазинова и др., 2010).

Классификация атмосферных процессов позволяет определить преобладающие атмосферные процессы с вероятностью их реализации в каждом месяце и выявить в том числе и те процессы, которые составляют фоновую циркуляцию, обеспечивающую устойчивый рост температуры воздуха в районе Антарктического полуострова в последние десятилетия XX столетия.

Полученные результаты позволяют понять причины формирования современного климата в районе украинской станции Академик Вернадский с детализацией характера погодных условий в зимний и летний сезоны. В данной работе проводится детализация преобразования атмосферных процессов, имеющая целью выйти на совершенствование кратко- и среднесрочных прогнозов в исследуемом регионе. В качестве исходных данных полей атмосферного давления использовались массивы реанализа ERA-40 (1957–2002 гг., горизонтальный шаг регулярной сетки 2,5°) и Interim (1971–2010 гг., горизонтальный шаг сетки 1,5°), Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, [www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int) (Deeaetal., 2011).

## 3. Закономерности преобразования циркуляции в нижней тропосфере

Ранее получено, что если в месяцы летнего сезона количество эталонных полей давления 2–3, а зимнего – до 6, то ожидается, что преобразование циркуляции летом происходит более упрощенно. В зимний сезон, в частности, достаточно большую вероятность реализации имеют и другие типы

процессов, приводящие к аномальным погодным условиям и похолоданиям, а также возрастает вероятность блокирования. Поэтому задачей работы является поиск закономерности перехода между полями эталонов различных классов вероятности, что соответствует смене погодных условий.

Для изучения преобразования атмосферной циркуляции применяется теория Марковского процесса, которая и ранее применялась для уточнения последовательности атмосферных процессов. В основе теории лежит преобразование поля (в данном случае атмосферного давления) как случайный процесс. Его состояние в исходный момент  $\zeta_0$ , а цепь его последовательных преобразований может быть описана как  $\zeta_0 \rightarrow \zeta_1 \rightarrow \zeta_2 \rightarrow \zeta_3$ . В таком примере исходное поле через определенное время преобразуется в себя же, что характерно для пояса пониженного давления ЮПО с сериями циклонов. Нашей целью является определение вероятности перехода  $P_{ij}$  из состояния  $\zeta_i$  в состояние  $\zeta_j$ :

$$P_{ij} = P(\zeta_{n+1} = \zeta_j / \zeta_n = \zeta_i), i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Представленная модель и есть однородная цепь Маркова, а вероятности называются переходными вероятностями этой цепи. Кроме них, в задаче необходимо задать начальное распределение вероятностей:

$$P_i^0 = P(\zeta_0 = \zeta_i), i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Для определения начального распределения вероятностей взяты полученные ранее эталонные поля давления, в частности первого класса, наибольшей вероятности. Эти поля являются доминантными модами на пространстве исследуемого региона, они же характеризуются определенными набором погодных условий, так что при установлении переходных вероятностей получим преобразование исходного поля вместе с погодными условиями – колебаниями температуры воздуха, осадков и сопутствующих явлений. Ниже представлены схемы преобразования синоптических процессов первого класса вероятности для летних и зимних месяцев. Как было получено ранее, набор эталонных полей летом менее представительен, чем зимой, так что их преобразования ожидаются более сложными в зимний сезон.

Основной вопрос в исследовании атмосферы – как долго сохраняется тенденция к сохранению начального состояния, особенно при наличии преобладающего типа, как, например, в феврале, когда с обеспеченностью 95% выделены два эталонных процесса. В теории Маркова показано, что в таком случае финальные переходные вероятности равны:

$$P_1 = p_{21} / (p_{21} + p_{12}),$$

$$P_2 = p_{12} / (p_{21} + p_{12}),$$

где  $p$  – вероятность переходов, а индексы показывают направление перехода-  $1 \rightarrow 2$  – из состояния 1 в 2,  $2 \rightarrow 1$  – из состояния 2 в 1, и так далее.

Для каждого коэффициента  $A_{ij}$  определялось состояние, имеющее наибольшую вероятность перехода самого в себя, разделяя таким образом типичные квазистационарные и нестационарные процессы (29). Если для какого-нибудь члена матрицы отсутствовали вероятности менее 0,70, то в дальнейшем данное преобразование не рассматривалось. Наиболее вероятные поля, полученные для вероятностей более 0.70, могут быть отправной точкой для составления прогнозов на средние сроки.

Так, для простейшего случая реализации эталонных процессов двух классов получили следующие вероятности переходов в январе и феврале:

$$P_1 = \begin{pmatrix} 0.77 & 0.23 \\ 0.86 & 0.14 \end{pmatrix} \quad (\text{январь})$$

$$P_1 = \begin{pmatrix} 0.84 & 0.16 \\ 0.90 & 0.10 \end{pmatrix} \quad (\text{февраль})$$

Таким образом, процесс 1 (наиболее вероятный) переходит в себя с вероятностью 0.73 в январе и 0.84 в феврале, и в 24% случаев он переходит в процесс второго класса в январе и в 16% в феврале. Обратное преобразование синоптического процесса 2 в 1 происходит с вероятностью 0.86 в январе и 0.90 в феврале, а преобразование 2→2 имеет малую вероятность в январе, и 0.19 – в феврале.

В понятиях синоптической метеорологии переход сам в себя типа 1→1 обозначает серию циклонов, а переход 1→2 – смену циклона гребнем повышенного давления, который, в свою очередь преобразуется в поле 1, рис. 1. Преобразование 2→1 характеризует смену подвижного гребня новым циклоном, и окончание основного цикла преобразований. Преобразование 2→2, т.е. сохранение гребня повышенного давления, в теплые годы редко.

Наиболее простая схема преобразования исходного поля – в феврале, когда оно преобразуется в самого себя через поле второго класса вероятности (рис. 2). С точки зрения синоптического преобразования – это серия циклонов, разделяемых подвижным гребнем. Благодаря такому преобразованию процессы февраль является наиболее облачным месяцем с частым выпадением атмосферных осадков.

Далее рассмотрим преобразования полей для зимних месяцев. В связи с большим набором эталонных процессов схема преобразований сложнее, и вероятности переходов можно представить в виде

$$P_1 = \begin{pmatrix} 0.63 & 0.23 & 0.14 \\ 0.37 & 0.12 & 0.51 \\ 0.72 & 0.06 & 0.22 \end{pmatrix}.$$

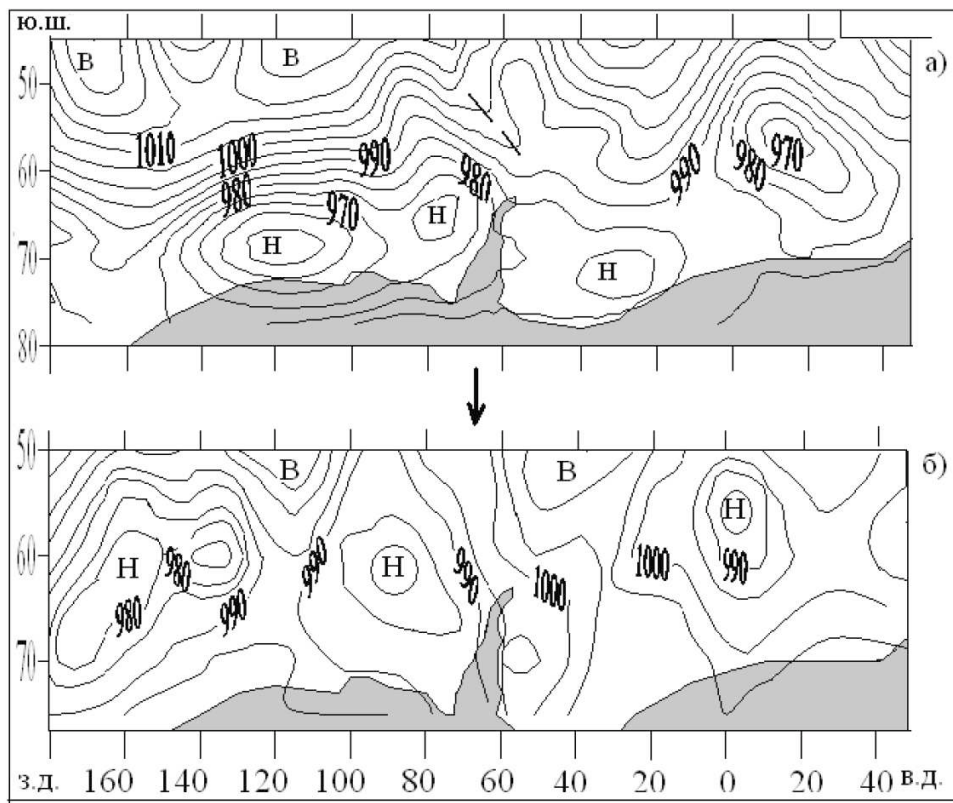


Рис. 1. Наиболее вероятное преобразование поля давления первого класса вероятности января, 1991–2000 гг.

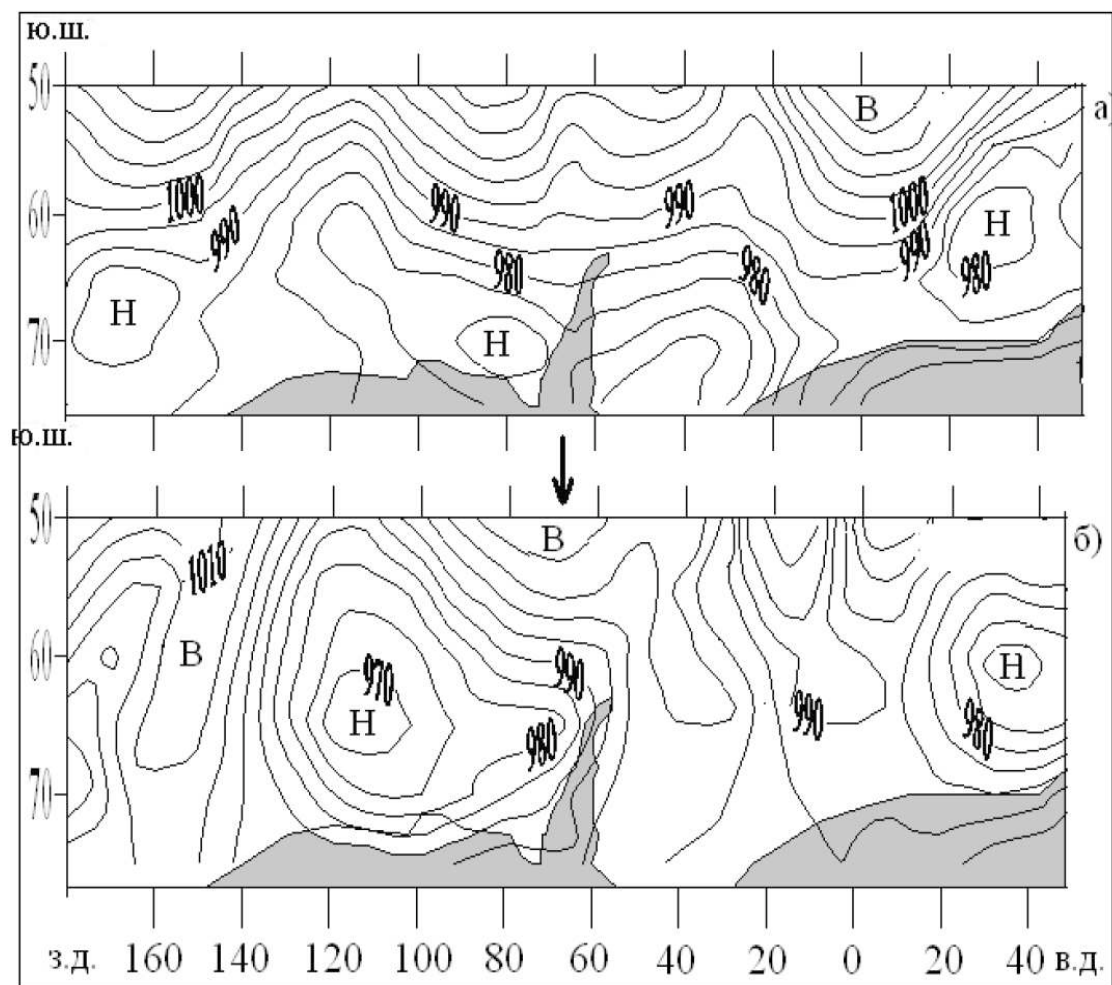


Рис. 2. Наиболее вероятное преобразование поля давления первого класса вероятности февраля, 1991–2000 гг.

Снижается вероятность преобразования процесса 1 (наиболее вероятного) в самого себя, однако процессы 2 и 3 в итоге преобразуется в 1, замыкая таким образом цепочку преобразований (рис. 3). Отмечается значительная вероятность финального перехода 3→1, т.е. от устойчивого гребня (антициклона) к области пониженного давления (рис. 3, а).

С наибольшей вероятностью преобразование происходит по схеме 1 → 2, 2→3 и 3→1. Таким образом, как и для летнего сезона, в зимние месяцы установлена тенденция к возврату к исходному полю наиболее вероятного класса. Наиболее важной здесь является переходная вероятность 3→1, т.е. смена устойчивого антициклона областью пониженного давления. За счет такого перехода создаются значительные межсуточные колебания температуры воздуха.

Однако барические градиенты в зимнее время более обострены, и интенсивность адвекции больше, с большими колебаниями температуры воздуха. Менее вероятное преобразование 2→3 представляет собой усиление антициклогенеза в Тихоокеанском секторе с оформлением отдельного отрога в море Беллинсгаузена и дальнейшим его развитием на юг с появлением блокирующего эффекта. Благодаря такому преобразованию процессов в зимние месяцы происходят наиболее существенные похолодания. Как правило, процесс заканчивается под влиянием циклонов, перемещающихся с запада, и таким образом при переходе 3 → 1 преобразование заканчивается.

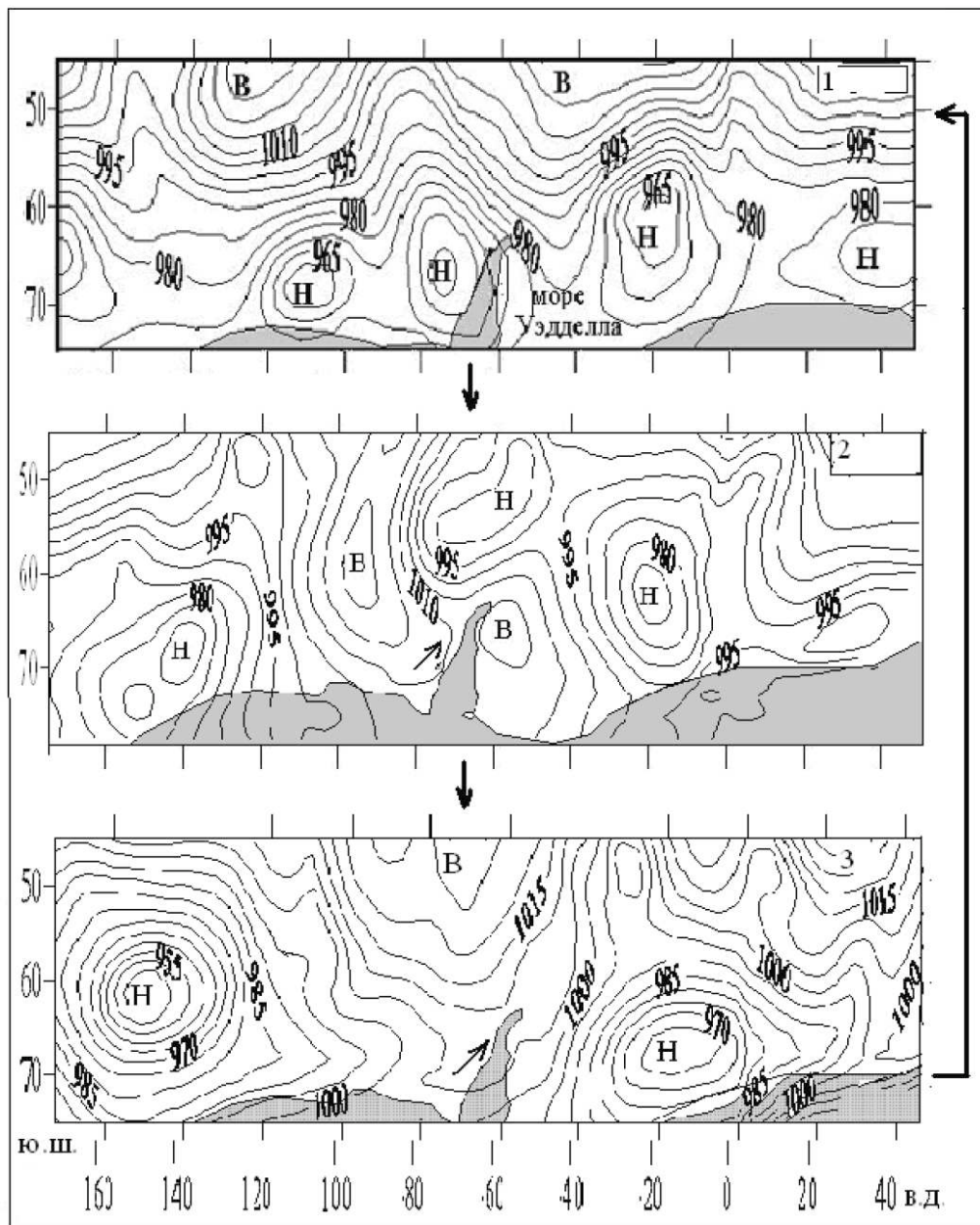


Рис. 3. Наиболее вероятное преобразование поля давления  
первого класса вероятности для июля 1991–2000 гг.

Следующим этапом было установление временной устойчивости полей каждого класса, участвующих в преобразовании, для того чтобы использовать при составлении прогнозов и уточнить временной промежуток самого преобразования. Устойчивость определялась по сохранению геометрического критерия подобия полей выше определенного порога. Фактически, эта задача сводится к анализу элементарного синоптического процесса (ЭСП) – понятия, широко используемого в среднесрочных прогнозах, которое определяется как такое поле, в котором сохраняется основные траектории переноса, связанного с позициями центров барических

образований (Дыдина и др, 1976). Смена ЭСП определяется как появление центров барических образований другого знака в пределах исследуемой области, что ранее уточнялось на сборно-кинематических картах. На новом этапе исследований можно охарактеризовать такой процесс как смену знака аномалии давления (геопотенциала) на достаточно большой области, при котором, в частности, изменяется направление преобладающего переноса. Использовался геометрический критерий подобия полей, при  $\rho = 0.30$  знак аномалии совпадает на 65% территории поля (или узлах сетки). Таким образом, сохранение знака в пределах данного порога свидетельствует о сохранении знака аномалии. На рис. 4 показан временной ход геометрического критерия подобия полей в июле 1998 г. по отношению к эталонному полю, для которого  $\rho=1$ . Видно преобразование данного поля как минимум в течение трех периодов в течение месяца при  $\rho > 0.50$ . В дни с  $\rho$  менее 0.50 развивается другой синоптический процесс, однако он имеет тенденцию к возврату к исходному полю, подтверждая выводы, полученные выше. Можно определить устойчивость эталонного поля – от 10 дней в середине месяца до 5 дней в третьей декаде. С другой стороны, устойчивость эталонного поля другого класса также равна пяти дням в конце месяца. Отметим, что данный пример соответствует наиболее вероятному преобразованию, показанному выше на рис. 1–2.

Подобным образом была рассчитана устойчивость полей за исследуемый период. В итоге получено, что устойчивость элементарного синоптического процесса больше в зимний сезон, причем синоптические процессы первого класса более устойчивы, чем второго (табл. 1).

#### 4. Обсуждение

Таким образом, процессы второго класса являются переходными, как, например, подвижный гребень повышенного давления, разделяющий циклонические области. Однако процессы третьего класса вероятности более устойчивы, чем второго, и представляют собой более редкие, но аномальные погодные условия – например, продолжительные похолодания. В особенности это проявляется зимой, когда максимальная продолжительность ЭСП третьего класса достигает 10 дней (июнь). Как правило, это квази-стационарный (блокирующий) процесс, при котором достигается значительное понижение температуры воздуха. Отметим, что по данным 2011–12 гг. выявлены новые данные о более длительных ЭСП в летние месяцы, свидетельствующие о продолжающемся изменении климата в регионе, данные представлены в разделе 6.

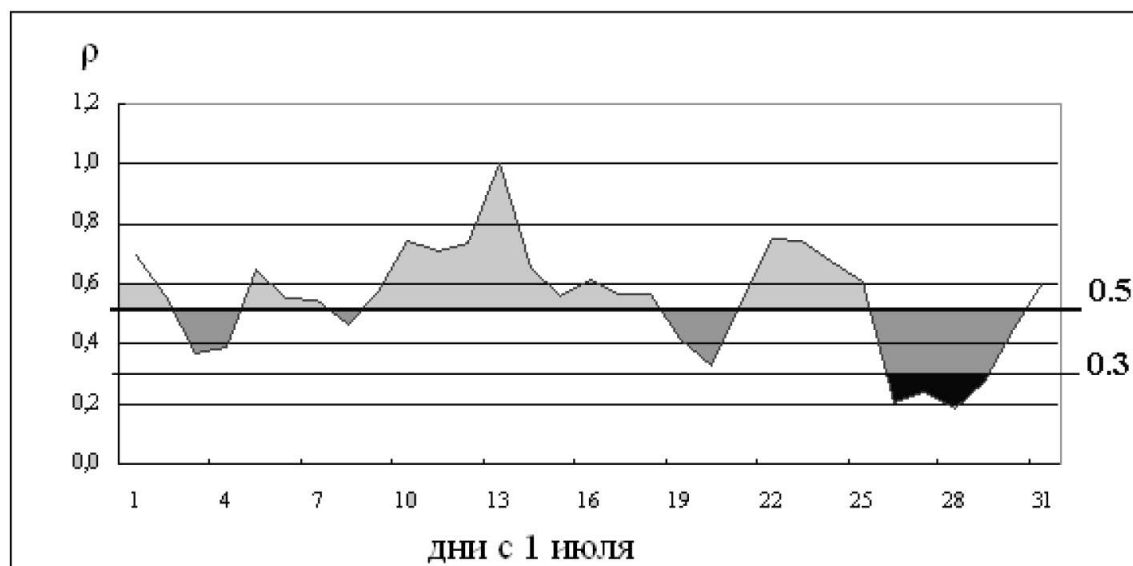


Рис. 4. Временной ход геометрического критерия подобия полей  $\rho$ , июль 1998 г., по отношению к полю наиболее вероятного класса (к оценке длительности (ЭСР)).



Таблица 1.

Продолжительность элементарного синоптического процесса (дни), месяцы летнего и зимнего сезонов

Месяц, Лето	Класс вероятности поля давления	Дни (Среднее, максимум)	Месяц, Зима	Класс вероятности поля давления	Дни (Среднее, максимум)
Декабрь	Поле 1 класса Поле 2 класса Поле 3 класса	5.5 (6) 2.5 (4) 3.5 (7)	Июнь	Поле 1 класса Поле 2 класса Поле 3 класса	5.2 (6) 3.2 (5) 5.5 (10)
Январь	Поле 1 класса Поле 2 класса Поле 3 класса	5.8 (6) 2.6 (4) 3.7 (6)	Июль	Поле 1 класса Поле 2 класса Поле 3 класса	5.5 (6) 2.5 (4) 3.5 (6)
Февраль	Поле 1 класса Поле 2 класса	5.5 (7) 1.5 (3)	август	Поле 1 класса Поле 2 класса Поле 3 класса	5.2 (6) 2.2 (4) 3.7 (7)

Примечание. Максимальная продолжительность ЭСП представлена в целых днях.

Необходимо отметить, что анализ ЭСП проводился в Южном полушарии, как только был налажено получение карт приземного анализа. Так, в исследовании Г. Б. Савицкого (Дыдина, 1976) основное внимание уделялось локализации крупных барических систем и сохранению господствующих воздушных переносов в тропосфере умеренных и высоких широт. Отмечено, что в 75.5% случаев продолжительность ЭСП составляет 3–4 дня, в 13.5% – 5–6 дней и в 11% случаев – 2 дня. На основании изучения ЭСП автором выделено 7 основных и 6 дополнительных типов синоптических процессов в Антарктике

На среднем уровне тропосферы наиболее часто крупномасштабный фон циркуляции формируется макропреобразованиями вида зональный поток (Z) → восточный тип (Mв) и западный меридиональный тип (Ma) → зональный Z, а наиболее редко – преобразованиями вида Ma → Mв и Mв → Ma (т.е. преобразования меридиональных типов между собой редки). Устойчивость каждой формы составляет 10–20 дней. Максимальной продолжительности достигает форма Ma – 8 ЭСП (т.е. около 24 дня–месяц). Эти выводы относятся к уровню АТ-500 гПа, характеризующемся, как видно, значительной устойчивостью в Южном полушарии.

По нашим данным, сравнимым результатом с выводами Г. Б. Савицкого является большая устойчивость зимних процессов. Кроме того, наш анализ относился к приземному уровню, и классификация процессов проведена в значительно более детальной форме для конкретного региона. Таким образом, крупномасштабные особенности циркуляции, на фоне которой развиваются отдельные типы синоптических процессов, обладают определенной стабильностью. На основании этой зависимости можно выделить относительно длительную направленность развития процессов и учитывать при построении схем краткосрочного и среднесрочного прогноза. Отметим, что первые гидродинамические схемы среднесрочного прогноза были внедрены на станции Молодежная в 1980-х гг. (Ефимов, 1982).

## 5. Выводы

Исследована временная устойчивость исходных полей давления при помощи Марковского процесса. Показано, что начальное состояние атмосферы с большой долей вероятности может быть представлено полем давления первого класса вероятности (наиболее вероятным).

Наиболее простое преобразование реализуется в месяцы летнего и зимнего сезонов с положительной аномалией температуры воздуха и состоит в прохождении серии циклонов, разделенных подвижным гребнем. Временная устойчивость элементарного синоптического процесса, связанного с эталонными полями, больше в зимний сезон, причем синоптические процессы первого класса более устойчивы, чем второго.

Определенная стабильность крупномасштабных объектов циркуляции позволяет выделить относительно длительную направленность развития процессов и учитывать ее при построении схемы прогноза на средние сроки (3–14 дней).

### Литература

1. Атлас Антарктики. Т. 2. Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 600 с.
2. Атлас океанов. Антарктика. ГУНО МО РФ. – С.-Пб. – 2005. – 324 с.
3. Багров Н. А. Статистическая теория распознавания в метеорологии / Н. А. Багров // Тр. ГМЦ СССР. – 1983. – вып. 244. – с. 51–62.
4. Воскресенский А. И. Основные черты циркуляции атмосферы над Антарктидой / А. И. Воскресенский, К. И. Чуканин // Исследования климата Антарктиды. – Л. : Гидрометеиздат. – 1980. – С. 170–176.
5. Говоруха Л. С. Антарктический ледниковый щит – уникальный физико-географический и гидрометеорологический феномен планеты и его роль в глобальном массоэнергообмене. / Л. С. Говоруха, Тимофеев В. Е. // Сб. трудов юбил. конференции к 70-летию ОГМИ. – Одесса, 2003. Ч. 2. – С. 166–176.
6. Грищенко В. Ф. Реакции компонентов гляциосферы на изменения климата в районе Антарктического полуострова / В. Ф. Грищенко, Тимофеев В. Е. // Укр. антарк. журнал. – 2005. – № 3. – С. 99–107.
7. Груза Г. В. Климатическая изменчивость повторяемости и продолжительности основных форм циркуляции в умеренных широтах Северного полушария / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 1. – С. 12–22.
8. Дзердзеевский Б. Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии / Дзердзеевский Б. Л. // М. : Изд. Ин-та географии АН СССР, 1970. – 176 с.
9. Дмитриев А. А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов / А. А. Дмитриев, Белязо В. А. – С.-Пб. : Гидрометеиздат, 2006. – 360 с.
10. Дыдина Л. А. Формы атмосферной циркуляции в южном полушарии. / Л. А. Дыдина, С. В. Рабцевич, Л. Ю. Рыжаков, Г. Б. Савицкий // Труды ААНИИ. – 1976. – 330. – С. 5–16.
11. Ефимов В. А. Математическая теория экспериментов по долгосрочному прогнозу динамики атмосферы южного полушария / В. А. Ефимов // Труды ААНИИ. – 1982. – Т. 365, – С. 12–96.
12. Зверев Н. И. Применение статистики в предсказании погоды / Н. И. Зверев – Л. : Гидрометеиздат, 1970. – 196 с.
13. Кононова Н. К. Циркуляция атмосферы в Антарктике в конце XX – начале XXI веков / Н. К. Кононова, О. В. Луценко, М. Е. Макарова, И. А. Орлов // Материалы гляциологических исследований. – 2007. – вып. 103. – С. 142–147.
14. Мартазинова В. Ф. Состояние циркуляции нижней тропосферы Южной полярной области в период современного потепления / В. Ф. Мартазинова, Е. К. Иванова, В. Е. Тимофеев. // Укр. ант. журнал. – № 6–7, 2007/2008. – С. 175–183.
15. Мартазинова В. Ф. Атмосферная циркуляция Южной полярной области и климат Антарктического полуострова / В. Ф. Мартазинова, Тимофеев В. Е., Иванова Е. К. – К. – 2010. – 92 с.
16. Рыжаков Л. Ю. Многолетние тенденции повторяемости форм атмосферной циркуляции Южного полушария и их проявления в синоптических процессах Антарктики / Л. Ю. Рыжаков. - В. : Кварт. Бюлл. Состояние природной среды Антарктики. – 2002. - 4 (21) . – С. 50–57.
17. Сидоренков Н. С. Атмосферные процессы и вращение Земли / Н. С. Сидоренков – С.-Пб. : Гидрометеиздат. – 2002. – 386 с
18. Тимофеев В. Е. Местные циркуляции в районе украинской антарктической станции / В. Е. Тимофеев, С. И. Гордиенко // Бюлл. УАЦ. – 1996. – № 1. – С. 66–67.
19. Фролов И. Е. Изменения климата Арктики и Антарктики – результат действия естественных причин / И. Е. Фролов, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, В. М. Смоляницкий // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. – № 2(85). – С. 52–61
20. Connolley W. M. Variability in annual mean circulation in Southern High latitudes / W. M. Connolley // Climate Dynamics, 1997, № 13. – P. 745–756.
21. Dee D. P. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system / D. P. Dee, S. M. Uppala, A. J. Simmons, P. Berrisford, P. Polva, S. Kobayashi, U. Andrae, M. A. Balmaseda, G. Balsamo, P. Bauer, P. Bechtold, A. C. M. Beljaars, L. van de Berg, J. Bidlot, N. Bormann, C. Delsola, R. Dragani, M. Fuentes, A. J. Geera, // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2011. – 137. – P. 553–597
22. Franzke C. Significant reduction of cold temperature extremes at Faraday/Vernsky station in the Antarctic Peninsula / C. Franzke // Int. J. Climatol.: 2013. – 33. – P. 1070 – 1078
23. Fyfe J. C. Extratropical Southern Hemisphere Cyclones: Harbingers of Climate Change / J. C. Fyfe // J. of Climate. – 2003. – v. 16. – P. 2802 – 2805.
24. Marshall G. J. Analysis of a regional change in the sign of the SAM-temperature relationship in Antarctica / G. J. Marshall, S. Battista, S. S. Naik, M. Thamban // Climate Dynamics. – 2011. – 36. – P. 277–287.
25. Martazinova V. F. The classification of synoptic Patterns by Method of Analogs / V. F. Martazinova // J. Environ. Sci. Eng. – 2005. – № 7. – P. 61–65.

26. **Martazinova V. F.** Present-day climate of Eastern Europe as viewed against atmospheric circulation change / V. F. Martazinova, V. E. Tymofeyev, E. K. Ivanova, D. Yu. Chayka // *Bulletin of Geography*. – 2009, – № 1. – P.7–18.
27. **Sinclair M. R.** A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere / M. R. Sinclair // *Mon. Wea. Rev.* – 1996. – vol. 124, № 2. – P. 245–263.
28. **Tibaldi K.** Northern and Southern Hemisphere Seasonal Variability of blocking Frequency and Predictability / K. Tibaldi, E. Tosi, A. Navarra, L. Pedulli. // *Mon. Wea. Review*, – 1994. – v. 122. – P. 1971–2003.
29. **Trenberth K. E.** Blocking in the Southern Hemisphere / K. E. Trenberth // *Mon. Wea. Review*. – 1985. – 113, № 1: 3–21.
30. **Turner J.** Antarctic Climate Change and the Environment / J. Turner, Bindshadler R., Convey P., di-Prisco G., Fahrbach E., Gutt J., Hodgson D., Mayewsky P., Summeerhayes C. – Cambridge, 2009. – 526 p.
31. **Vaughan D. G.** Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula. 1996 / D. G. Vaughan, C. S. M. Doake // *Nature* 379. – 1996. – P. 328–331.