

Алгоритм расчета характеристик атмосферной циркуляции при среднесрочном прогнозе погоды

С. В. Беспалов, email: antonn58@ya.ru

ВУНЦ ВВС "ВВА" им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

***Аннотация.** Разработан автоматизированный способ и создан графический пользовательский интерфейс расчета типа атмосферной циркуляции.*

***Ключевые слова:** атмосферная циркуляция, барическое образование, индекс зональной и меридиональной циркуляции, сетка точек, алгоритм расчетов.*

Введение

В связи с изменением климата в последнее десятилетие проводится усиленное изучение процессов общей циркуляции атмосферы и условий формирования аномальных явлений погоды, что позволит значительно сократить потери от их наступления. Проблема среднесрочного предсказания погоды неразрывно связана с познанием закономерностей общей циркуляции атмосферы и с проблемой прогноза крупномасштабных атмосферных процессов. Исходя из того, что гидродинамическая предсказуемость квазистационарных режимов атмосферной циркуляции не велика (15 суток), цель исследования заключается в выявлении характерных типов атмосферной циркуляции, анализе временных рядов циркуляционных режимов и разработке алгоритма расчета характеристик атмосферной циркуляции при среднесрочном прогнозе погоды.

1. Разработка алгоритма

Исследователи в работах [1,2,3] базируются на той или иной типизации синоптических процессов, и уместно поставить вопрос о содержании понятия, вкладываемого в слово типизация. Так каждая типизация преследует разграничение совокупности погод, изучаемых по синоптическим картам, на однородные по тому или другому признаку совокупности. Таким образом, количественные изменения и территориальные сдвиги в протекании метеорологического процесса по тому или иному типу до определенного их размера могут не приниматься во внимание, в случае же значительных отклонений они относятся уже к другому типу, т. е. принимаются качественно различны.

Одна из наиболее важных групп типизаций это типизации, проводимые для целей прогноза погоды. Прогноз требует точного диагноза не только состояния атмосферы, но и происходящего в ней процесса.

Циркуляция атмосферы является одним из основных погодообразующих факторов. Для центральных областей Европейской части России западный перенос воздушных масс является преобладающей формой циркуляции. Временами западный перенос нарушается меридиональным, который, как правило, сопровождается резкими изменениями погоды. Режим циркуляции атмосферы имеет сезонные особенности, которые представляются в повторяемости различных барических образований над определенными районами. В таблице приведена типизация, барических образований над территорией Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) за период 2001–1019 гг. Из таблицы видно, что в течение года циклонические и антициклонические поля имеют почти одинаковую повторяемость, с небольшим перевесом циклонов.

Таблица

Повторяемость (%) различных барических образований на территории ЦЧР

Циклоны	Малоградиентное поле пониженного давления	14.4
	Стационарный циклон	3.1
	Западный	21.9
	Северо-западный	5.8
	Южный, юго-западный, юго-восточный	3.5
	Возникающий над ЕТС	4.4
	ВСЕГО	53.1
Антициклоны	Малоградиентное поле повышенного давления	6.9
	Стационарный антициклон	9.1
	Азорский	14.8
	Сибирский	1.5
	Скандинавский	14.6
	ВСЕГО	46.9

Для количественной оценки интенсивности и возмущенности атмосферной циркуляции в метеорологии применяются разного рода численные индексы. В Российской Федерации для численной оценки интенсивности воздушных переносов широкое распространение получила система индексов, предложенная А. Л. Кацем [4].

Исходя из того, что для соответствующего района изменение зонального потока массы воздуха на выбранном участке зависит только

от колебаний среднего градиента давления на участках меридианов, включенных в эту зону, а меридионального потока массы – от среднего градиента давления на участках параллелей, А. Л. Кац для оценки индексов зональной (I_3) и меридиональной (I_m) циркуляции предложил подсчитывать средние меридиональные и зональные градиенты.

Для подсчета индекса зональной циркуляции I_3 в мбар/1°эquiv. или дам/1°эquiv., пропорционального среднему меридиональному градиенту, А. Л. Кацем предложена следующая формула:

$$I_3 = \frac{b \sum_i n_i}{(\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (1)$$

Аналогично выглядит и формула для подсчета индекса меридиональной циркуляции I_m в мбар/1°эquiv. или дам/1°эquiv., пропорционального среднему зональному градиенту:

$$I_m = \frac{b \sum_j m_j k}{(\lambda_2 - \lambda_1)_j} \quad (2)$$

где в формулах (1) и (2) b – интервал, через который проводятся изобары (5 мбар) или изогипсы (4 дам) на синоптических или картах барической топографии;

i – число меридианов, на которых подсчитываются меридиональные градиенты давления между параллелями φ_1 и φ_2 ;

j – число параллелей, на которых подсчитываются зональные градиенты давления между меридианами λ_1 и λ_2 ;

n – число пересечений изобарами (изогипсами) меридианов;

m – число пересечений изобарами (изогипсами) параллелей;

$k = 1 / \cos \varphi$ – постоянный для каждой широты поправочный коэффициент, введенный для сравнимости индексов меридиональной циркуляции, подсчитанных для различных районов. Множитель k показывает отношение длины дуги в 1° на экваторе к длине дуги в 1° на данной параллели.

Для оценки соотношения интенсивности зональной и меридиональной циркуляции часто используют безразмерный индекс.

$$I_0 = I_m / I_3 \quad (3)$$

Индекс I_0 называется общим индексом. Он дает возможность относить синоптические процессы либо к меридиональному, либо к широтному типу [4,5].

Данный метод применяется для расчета индексов зональной и меридиональной циркуляции для Атлантико-Евразийского сектора северного полушария. В качестве исходного материала используются фактические карты AT_{500} . В работе [6], сделано предположение о возможности использования прогностических карт барической топографии.

Расчет индексов циркуляции осуществляется для зоны, расположенной между 35 и 70° с. ш.. Поскольку атмосферные процессы за один срок в высоких и низких широтах могут значительно отличаться друг от друга, то целесообразно индексы вычислять как для всей зоны 35–70° с. ш., так и по полузонам 35–52° и 52–70° с. ш.. Процессы относят к меридиональному типу, если во всей зоне или хотя бы в северной ее части $I_0 > 0,75$, так как в северной половине основной зоны возмущенность процессов больше, чем в южной.

Подсчет индексов циркуляции в зоне 35–70° с. ш. производится раздельно по двум секторам. На рис. 1 изображена стандартная сетка точек, с которой снимаются исходные данные для подсчета индексов циркуляции I_3 и I_m в дам/1°экв. в Атлантико-Евразийском секторе.

Индексы I_3 и I_m подсчитываются по формулам (4) и (5) в виде средних из градиентов геопотенциала на 1° меридиана или экватора на соответствующих участках:

$$I_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{\Delta H}{\Delta \varphi} \right)_i \quad (4)$$

$$I_m = \frac{1}{m} \sum_{m=1}^{j=m} \left(\frac{\Delta H}{\Delta \lambda \cos \varphi} \right)_j \quad (5)$$

где ΔH – разность геопотенциалов в геопотенциальных декаметрах на границах зоны на каждом из выбранных i меридианов и на границах сектора на каждой из параллелей;

$\Delta \varphi$ – ширина зоны в градусах широты;

$\Delta \lambda$ – ширина сектора в градусах долготы;

n – число меридианов; m – число параллелей;

$1 / \cos \varphi$ – множитель для перевода длины дуги параллели в 1° на широте φ в длину дуги экватора в 1°.

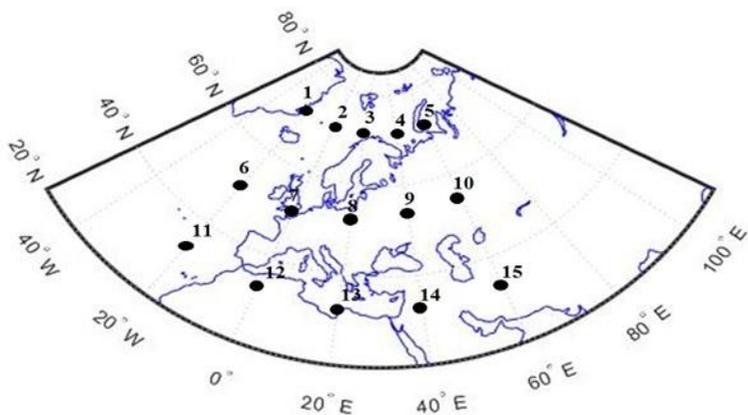


Рис. 1. Стандартная сетка точек, с которой снимаются исходные данные для подсчета индексов циркуляции I_3 и I_m

2. Алгоритм расчетов

Разность высот изобарической поверхности в геопотенциальных декаметрах (Δh) как вдоль меридиана, так и вдоль широты может быть и положительной и отрицательной относительно осей координат, одна из которых считается направленной на север, а другая на восток ($\Delta \varphi$ и $\Delta \lambda$ всегда положительны). Для оценки типа макропроцессов индексы подсчитываются по картам AT_{500} .

В ходе численного эксперимента выявлено, что для количественной оценки характера атмосферной циркуляции по А.Л. Кацу для территории ЦЧР целесообразно использовать формулы 2.3-2.5 и схему точек на рис. 1. Для автоматизации процесса расчета был разработан графический пользовательский интерфейс (рис.2).

Для оценки характера атмосферной циркуляции с помощью графического пользовательского интерфейса необходимо с использованием стандартной сетки точек (рис. 1), в зоне 35–70°с.ш. и 40°з.д.–100°в.д. рассчитать индексы зональной I_3 и меридиональной I_m циркуляции.

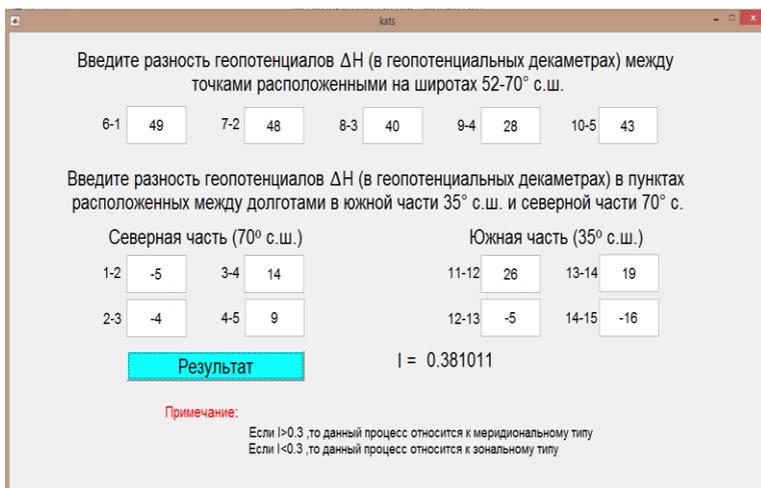


Рис. 2. Графический пользовательский интерфейс

Разработан автоматизированный алгоритм количественной оценки характера атмосферной циркуляции. Содержание данного алгоритма, сводится к выполнению следующих мероприятий:

Шаг 1. Для подсчета индекса зональной циркуляции I_3 необходимо рассчитать разность геопотенциалов ΔH в геопотенциальных декаметрах между точками расположенными на широтах $52-70^\circ$ с.ш. Расчет разности между широтами считается с юга на север. Точки, между которыми рассчитывается разность: для зоны $52-70^\circ$ с.ш (6-1;7-2;8-3;9-4;10-5). Индекс зональной циркуляции I_3 для зоны $52-70^\circ$ с.ш соответствует удвоенному значению индекса зональной циркуляции I_3 для зоны $35-70^\circ$ с.ш. Для того чтобы получить индекс зональной циркуляции I_3 для всей зоны $35-70^\circ$ с.ш. необходимо разделить на два полученное значение индекса зональной циркуляции I_3 для зон $52-70^\circ$ с.ш.

Шаг 2. Для расчета индекса меридиональной циркуляции I_m необходимо рассчитать разность геопотенциалов ΔH в геопотенциальных декаметрах на пунктах расположенных между долготами в южной части 35° с.ш. и северной 70° с.ш. Расчет разности между долготами рассчитывается с запада на восток. Точки, между которыми рассчитывается разность:

а) для северной части расположенной на 70° с.ш: (1-2;2-3;3-4;4-5);

б) для южной части расположенной на 35° с.ш: (11–12;12–13;13–14;14–15).

Индекс меридиональной циркуляции I_m для всей зоны 35–70° с.ш. рассчитывается как среднее значение из индексов южной (35° с.ш.) и северной (70° с.ш.) части.

Разность давления, как вдоль долготы, так и вдоль широты может быть и положительной и отрицательной относительно осей координат.

Шаг 3. Общий индекс атмосферной циркуляции I_0 определяется как отношение индекса меридиональной циркуляции к индексу зональной циркуляции:

$$I_0 = \frac{I_m}{I_3}.$$

В качестве примера выполним расчет индекса циркуляции атмосферы с использованием карты AT_{500} и разработанного графического интерфейса.

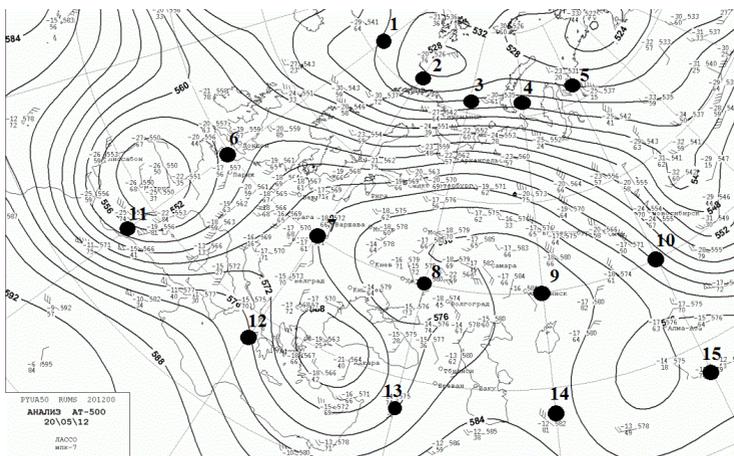


Рис. 3. Карта AT-500 с нанесенной стандартной сеткой точек для расчета индекса циркуляции атмосферы

Пример расчета изображен на рис. 2 и 3. Используя вышеприведенное решающее правило, так как общий индекс атмосферной циркуляции равен 0.38, следовательно циркуляция изображенная на рис. 3 относится к меридиональному типу, что и подтверждается субъективной оценкой. Меридиональный тип циркуляции свидетельствует о возможности засушливого периода летом или периода с аномально низкими температурами зимой.

Заключение

В рамках выполнения работы исследовалось соответствие порогового значения общего индекса атмосферной циркуляции (I_0), рассчитанной по вышеприведенному алгоритму с субъективной оценкой опытного метеоролога. В результате анализа численного эксперимента (210 случаев) пороговое значение рекомендуется изменить с 0.75 на 0.3.

В качестве критерия оценки зональности или меридиональной следует руководствоваться величиной $I_0 = 0.3$. Если $I_0 > 0.3$, то процесс меридиональный; если $I_0 < 0.3$ то процесс зональный.

Список литературы

1. Алпатьев А. М., Иванова В. Н. Характеристика и географическое распределение засухи // В кн.: Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. – Л. : Гидрометеиздат, 1958. – С.31-45.
2. Бардин М. Ю. Региональные квазистационарные режимы зимней циркуляции умеренных широт Северного полушария. Пространственное распределение и горизонтальная структура флуктуации // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 2. – С. 12-24.
3. Дзержевский Б. Л. Проблема изучения аридных и семиаридных областей в СССР // В кн.: Климатология и макроклиматология. – М. : Прогресс, 1964. – С. 382-395.
4. Бауман И.Л., Кондратович К.В., Савичев А.И. Практикум по долгосрочным прогнозам погоды. – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 130 с.
5. Lackmann G. Midlatitude Synoptic Meteorology: Dynamics, Analysis, and Forecasting. // Boston: American Meteorological Society – 2012. – 234 p.
6. Беспалов С.В., Минаев И.М. Усовершенствование численной схемы прогноза геопотенциальной высоты изобарической поверхности / С.В. Беспалов, И.М. Минаев// Информатика: проблемы, методология, технологии: сб. материалов XVIII международной научно-методической конференции. – Воронеж, 2018. – т. 2. – С. 45-49.