

ОПОСРЕДОВАННОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО КОРРЕКТНОСТИ ПОЛОЖЕНИЙ ПРИЧИННОЙ МЕХАНИКИ Н.А. КОЗЫРЕВА

Введение

Проблема введения принципа причинности в точные науки – одна из величайших научных проблем, которая скрыто присутствовала на всем протяжении развития науки, но за последние полвека стала актуальнейшей благодаря ее «вскрытию» такими выдающимися учеными, как Н.А. Козырев, И. Пригожин, Р.А. Уилер, Р.П. Фейнман и др. Всех этих ученых объединяет поразительная схожесть результатов, полученных на основании различных физических направлений: причинной механики [10, 11], неравновесной термодинамики [15], теории прямого межчастичного взаимодействия [21, 22, 23] и квантовой нелокальности [18, 19, 20]. Суть результата – созидающее начало необратимых (диссипативных) процессов. Иначе говоря, в определенных условиях диссипативные процессы помимо декогеренционных свойств, определяющих разрушение квантовых нелокальных корреляций, обладают и созидающим свойством, обеспечивающим квантовые *нелокальные* корреляции на *макроуровне*. В цикле работ, направленных на изучение квантовой нелокальности, С.М. Коротаевым строго на *экспериментальном* уровне доказано главнейшее положение теории квантовой нелокальности – отсутствие локальных переносчиков (бозонов). Физическая связь осуществляется благодаря запаздывающему и опережающему полям в прямом межчастичном взаимодействии [12-13]. Асимметрия времени – основной постулат причинной механики, проявляется через асимметрию поглощения запаздывающего и опережающего полей: запаздывающее поле поглощается полностью, опережающее – нет. В итоге, опережающее поле неконтролируемых (естественных) диссипативных процессов-источников оказывается наблюдаемо через опережающую реакцию пробных диссипативных процессов. В частности, наблюдалась реакция пробных процессов-детекторов на процессы синоптической активности с опережением до 3 месяцев [13].

Основная цель данной статьи – исследования свойств классических диагностических и прогностических уравнений гидротермодинамики с учетом *косвенного* введения в них направленности времени (его асимметрии) на основании положений причинной механики. Помимо прямой указанной цели данная работа имеет и другую, чрезвычайно сложную и в той же степени необходимую направленность – доказательство корректности положений причинной механики на основании численных натурных экспериментов, выполненных с помощью преобразованных уравнений. Как отмечено Л.С. Шихобаловым [16], и с этим трудно не согласиться, сложность экспериментального изучения времени сегодня состоит в практической невозможности его непосредственного исследования, а только *опосредованно*

через направленное изучение различных физических процессов. Нами в качестве таких процессов взяты атмосферные метеорологические процессы с точки зрения их аналитического описания в будущем (предсказание). Прогноз погоды (особенно среднесрочный и долгосрочный) на сегодняшний день остается до конца не решенной проблемой. Поэтому если преобразованные прогностические уравнения, описывающие эволюцию атмосферных процессов, дадут лучшие по сравнению с классическим вариантом результаты прогноза, то последние можно рассматривать как косвенное доказательство корректности положений причинной механики.

1 Сила причинности

Один из основных выводов причинной механики, подтвержденный экспериментально – наличие в гироскопической системе при определенных условиях дополнительной силы, действующей вдоль оси гироскопа и названной Н.А. Козыревым силой причинности [10, 11]:

$$\Delta \vec{F} = -\vec{j} \frac{u}{C_2} |\vec{F}| \cos \Theta, \quad (1)$$

где u – линейная скорость вращения гироскопа, Θ – угол между ортом \vec{i} , определяющим направление силы \vec{F} действия одной материальной точки на другую в гироскопической системе и ортом вращения гироскопа \vec{j} , $C_2 = \alpha c$, где α – постоянная тонкой структуры Зоммерфельда, c – скорость света в вакууме.

В цикле работ [1, 5, 6, 7, 17] получено выражение для козыревской силы применительно к Земле и атмосфере как функции широты:

$$\vec{Q} = j \frac{\omega r}{C_2} g \rho \left(\frac{1}{2} |\sin 2\varphi| - \frac{1}{\pi} \right). \quad (2)$$

В соответствии с положениями причинной механики рассматриваемая сила имеет противоположный знак для причин и следствий. Качественные соображения указывают, что причину и следствие можно определить по направлению потока свободной энергии: поток энергии всегда направлен от причины к следствию. Твердое тело Земли отдает тепло в окружающее пространство. Следовательно, его можно считать находящимся в «области причин». Рассматривая же систему Земля-атмосфера, аналогичным образом приходим к выводу, что атмосфера находится в «области следствий». Эти качественные соображения были подтверждены количественно с использованием аппарата причинного анализа [1, 3, 12]. Для этого был рассмотрен радиационный баланс системы Земля-атмосфера, а именно: эффективное излучение Земли и собственное излучение атмосферы в направлении земной поверхности. Результаты причинного анализа показали, что параметр причинности Υ эффективного излучения земной поверхности и противоизлучения атмосферы меньше единицы, т.е. попадает на энтропийной диаграмме [12] в область «нормальной причинности». Этот результат совпадает с феноменологическим представлением о

направленности причинно-следственной зависимости в системе Земля-атмосфера. Таким образом \vec{Q} в (2) берется со своим знаком для Земли и обратным для атмосферы. Расчеты силы \vec{Q} по формуле (2) оказались в хорошем согласии [1, 17] с прямыми ее измерениями, выполненными Н.А. Козыревым [10, 11].

В физике Земли и атмосферы вертикальные и горизонтальные силы играют различную роль. Поэтому были рассмотрены отдельно горизонтальная Q_φ и вертикальная Q_r компоненты силы причинности \vec{Q} :

$$Q_\varphi = \frac{\omega r}{C_2} g\rho \left[0,5|\sin 2\varphi| - \frac{1}{\pi} \right] \cos \varphi; \quad (3)$$

$$Q_r = \frac{w r}{C_2} g\rho \left[0,5|\sin 2\varphi| - \frac{1}{\pi} \right] \sin \varphi. \quad (4)$$

В геологическом масштабе времени результат действия этих сил можно выразить через их дивергенции:

$$\text{div} Q_\varphi = \pm \frac{w}{C_2} g r \left[\cos 2\varphi \cos \varphi - |\sin 2\varphi \sin \varphi| + \frac{2}{\pi} |\sin \varphi| \right], \quad (5)$$

$$\text{div} Q_r = \pm \frac{w}{C_2} g\rho \left[\frac{1}{2} |\sin 2\varphi| - \frac{1}{\pi} \right] \sin \varphi_{g\sim r}, \quad (6)$$

где знак «+» для северного полушария, «-» – для южного.

Одно из важнейших геофизических следствий эффектов причинной механики – гипотеза, что вертикальная составляющая Q_r должна быть ответственна за деформацию равновесной фигуры Земли. В силу того, что за фигуру Земли принимается потенциал силы тяжести, кривая Q_r описывает фигуру, обратную геодезической, но потенциал U этой силы

$$U = -\frac{1}{3} \frac{w r^2}{C_2} g\rho \left[\frac{1}{2} |\sin 2\varphi| - \frac{1}{4} \right] \sin \varphi_{g\sim r} \quad (7)$$

совпадает по знаку с геодезической кардиоидой.

Факт тепловой асимметрии полушарий и смещение теплового экватора относительно географического к северу приблизительно на 10° , был зафиксирован по данным многолетних наблюдений. Однако этот факт не получил удовлетворительного объяснения. Рассмотрим явление тепловой асимметрии полушарий с позиций причинной механики. Ротор силы \vec{Q} в атмосфере

$$\text{rot} \vec{Q}_A = -\frac{w}{C_2} g\rho \left[\frac{3}{2} |\sin 2\varphi| \cos \varphi + |\sin \varphi| \cos 2\varphi - \frac{3}{\pi} \cos \varphi \right]_{g=\text{const}} \quad (8)$$

определяет интенсивность меридиональной циркуляции. Из кривой зависимости $\text{rot} \vec{Q}_A$ от широты следует, что в целом в атмосфере преобладают положительные значения. Это означает существование в нижних слоях

атмосферы интегрального переноса из южного полушария в северное и обратного переноса – в верхних. В результате в северном полушарии приземная температура должна быть выше, чем в южном полушарии.

2. Учет силы причинности в численных моделях атмосферы

2.1 Потенциальная и соленоидальная составляющие скорости ветра, обусловленные силой причинности. Каусстрофический ветер

В случае равномерного движения под действием сил давления и Кориолиса горизонтальные составляющие скорости ветра определяются из соотношений:

$$-\frac{\partial\Phi}{\partial x} + lv = 0, \quad -\frac{\partial\Phi}{\partial y} - lu = 0, \quad (9)$$

где Φ – геопотенциал, l – параметр Кориолиса.

Ветер, удовлетворяющий системе (9), называется геострофическим. Его компоненты рассчитываются по формулам

$$u = -\frac{1}{l} \frac{\partial\Phi}{\partial y}, \quad v = \frac{1}{l} \frac{\partial\Phi}{\partial x}. \quad (10)$$

При циклонической форме циркуляции из (10) следует, что направление движения происходит против часовой стрелки, а при антициклональной – по часовой стрелке.

Рассмотрим особенности поведения горизонтальных составляющих скорости ветра при учете сил Кориолиса и причинности. В этом случае система уравнений (10) примет вид:

$$-lu + Q_{\varphi_y} = 0, \quad lv + Q_{\varphi_x} = 0, \quad (11)$$

где Q_{φ_x} и Q_{φ_y} – горизонтальные составляющие силы причинности.

Назовем каусстрофическим ветром такой ветер, который поддерживает состояние равновесия между силами Кориолиса и причинности:

$$u_c = \frac{1}{l} Q_{\varphi_y}, \quad v_c = -\frac{1}{l} Q_{\varphi_x}. \quad (12)$$

На рисунке 1 приведено поле каусстрофического ветра в северном полушарии. Особенности его распределения следующие. Циркуляция типа седловины наблюдается над северным полюсом. Деформационная ось растяжения ориентирована вдоль меридианов 45° з.д. – 135° в.д., а ось сжатия – вдоль меридианов 45° в.д. – 135° з.д. Антициклональная форма циркуляции формируется в секторах 45° – 135° в.д. и 45° – 135° з.д. Циклоническая форма циркуляции – в секторах 45° з.д. – 45° в.д. и 135° – 225° в.д.

Таким образом, для каусстрофического ветра характерен вынос воздушных масс из районов экватора вдоль деформационной оси сжатия и приток воздушных масс к экватору вдоль деформационной оси растяжения.

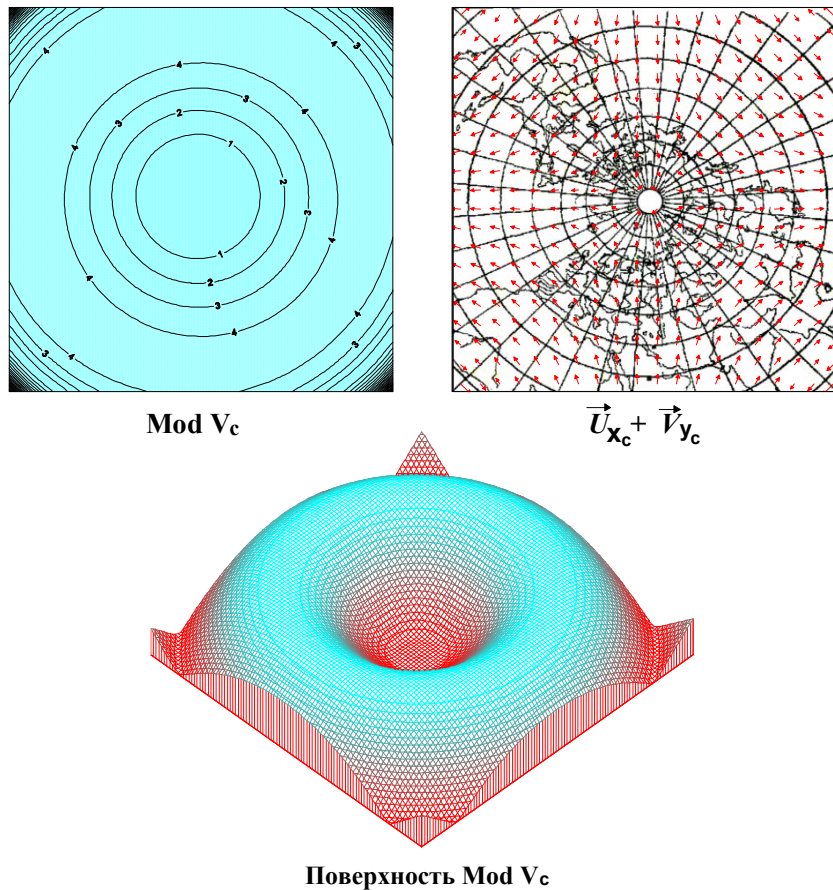


Рис. 1. Поле модуля, его поверхности и вектора каустрофического ветра

Горизонтальные составляющие скорости ветра однозначно представляются в виде комбинации двух функций – функции тока ψ и потенциала скорости φ :

$$u = -\frac{\partial \Psi}{\partial y} + \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial y}. \quad (13)$$

В случае геострофического ветра в линейном приближении функция тока и потенциал скорости определяются из решения уравнений

$$\Delta \Psi_g = \frac{1}{l} \Delta \Phi, \quad \Delta \varphi_g = 0. \quad (14)$$

Для каустрофического ветра соответствующие уравнения имеют вид:

$$\Delta \Psi_c = (\text{rot} Q_\varphi)_z, \quad \Delta \varphi_c = (\text{div} Q_\varphi)_z, \quad (15)$$

где $(\bullet)_z$ – вертикальная составляющая соответствующих дифференциальных характеристик силы причинности. Подстановка решений уравнений (14) и (15) в (13) позволяет получить составляющие геострофического и каустрофического ветра через потенциальную и соленоидальную их составляющие.

Геострофический ветер имеет только одну соленоидальную составляющую и в случае круговых изобар направлен по касательной к ним

таким образом, что область низкого давления всегда остается слева по направлению движения.

Совершенно иная картина наблюдается при каустрофическом ветре. Пространственное распределение его модуля, соленоидальной и потенциальной составляющих приведены на рисунке 2. Соленоидальная часть каустрофического ветра приводит к образованию циклонической циркуляции с центром на северном полюсе, четырех изолированных антицикло-нальных циркуляций в средних широтах с центрами на 0° , 90° , 180° и 270° в.д. и общего восточного зонального потока в низких широтах. Общая тенденция в потенциальной части каустрофического ветра связана со сходимостью течений к району северного полюса вдоль долготных кругов и расходимостью течений в низких широтах по направлению к экватору. Суммарное распределение потенциальной и соленоидальной составляющих каустрофического ветра в общем напоминает картину для соленоидальной составляющей в северных и средних широтах (за исключением антициклональных циркуляций) и потенциальной составляющей в южных широтах.

Из особенностей распределения суммы потенциальной и соленоидальной составляющих каустрофического ветра следует, что его потенциальная составляющая играет преобладающую роль в формировании воздушных потоков в южных широтах и ослабляет влияние соленоидальной составляющей в средних широтах северного полушария. Соленоидальная же составляющая вносит основной вклад в формирование каустро-фического ветра в высоких широтах северного полушария.

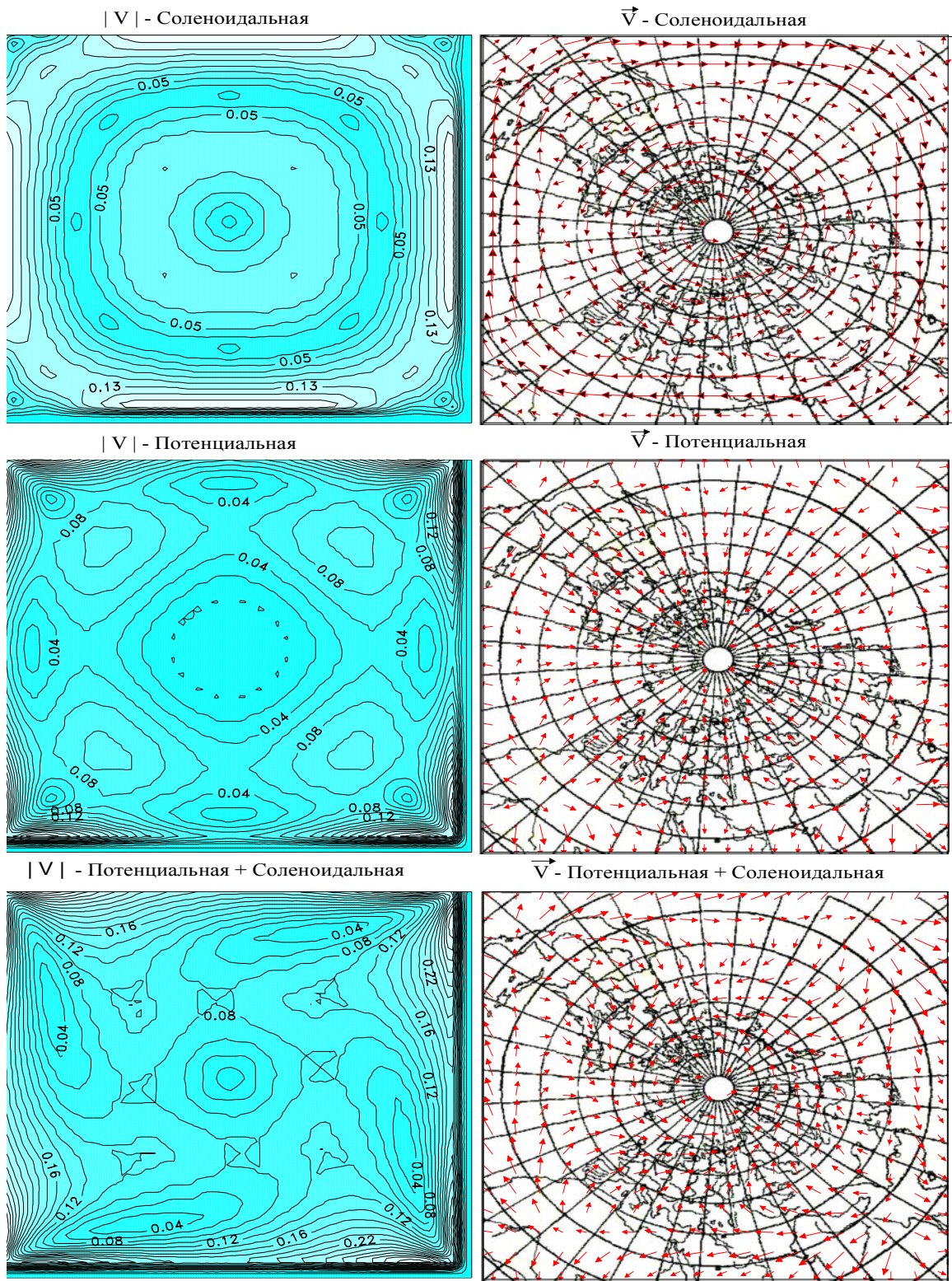


Рис. 2. Линии тока каустрофического ветра

2.2 Уточнение баротропного уравнения вихря скорости в квазигеострофическом приближении

Как известно из классической механики жидкости и газов, в баротропной атмосфере уравнение вихря скорости имеет вид [14]:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + u \frac{\partial(\Omega + l)}{\partial x} + v \frac{\partial(\Omega + l)}{\partial y} = \frac{l}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} \right), \quad (16)$$

где $\Omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ – относительный вихрь скорости, l – параметр Кориолиса, H

– высота изобарической поверхности, u, v – горизонтальные составляющие скорости ветра.

В предположении квазигеострофичности движения компоненты ветра представляются соотношениями

$$u = -\frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial y}, \quad v = \frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (17)$$

где g – ускорение свободного падения. Подставляя (17) в (16), получим выражение для баротропного уравнения вихря

$$\Delta \frac{\partial H}{\partial t} - \alpha^2 \frac{\partial H}{\partial t} = A_\Omega, \quad (18)$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$; $\alpha^2 = \frac{l^2}{gH}$; $A_\Omega = -\left(H, \frac{g}{l} \Delta H + l \right)$.

В отличие от классической механики, причинная механика, построенная на непреложном факте необратимости времени, вводит понятие силы причинности. В результате в правой части уравнения (18) появляется член, представляющий численное значение вертикальной составляющей силы причинности Q :

$$rot \mathbf{Q}_a = -\frac{w}{C_2} g\rho \left(\frac{3}{2} |\sin 2\varphi| \cos \varphi + |\sin \varphi| \cos 2\varphi - \frac{3}{\pi} \cos \varphi \right). \quad (19)$$

Уравнение (19) с учетом (20) принимает вид

$$\Delta \frac{\partial H}{\partial t} - \alpha^2 \frac{\partial H}{\partial t} = A_\Omega + A_Q, \quad (20)$$

где $A_Q = \frac{l}{g\rho} rot \mathbf{Q}_a$.

Таким образом, уточнение баротропного уравнения вихря скорости в квазигеострофическом приближении заключается в добавлении в его правой части члена, ответственного за учет силы причинности. При этом отметим одно чрезвычайно важное с вычислительной точки зрения обстоятельство. Добавочный член представлен в аналитическом виде и является функцией только широты места!

2.3 Эволюция полей геопотенциала и ветра под действием силы причинности

Для выяснения вклада силы причинности в баротропное уравнение вихря (20) были выполнены численные эксперименты с целью получения эволюции начального поля, заданного над северным полушарием в трех вариантах: невозмущенное, циклоническое и антициклональное поле геопотенциала поверхности 500 гПа. Последние задавались с центром в полюсе (рис. 3 б, в).

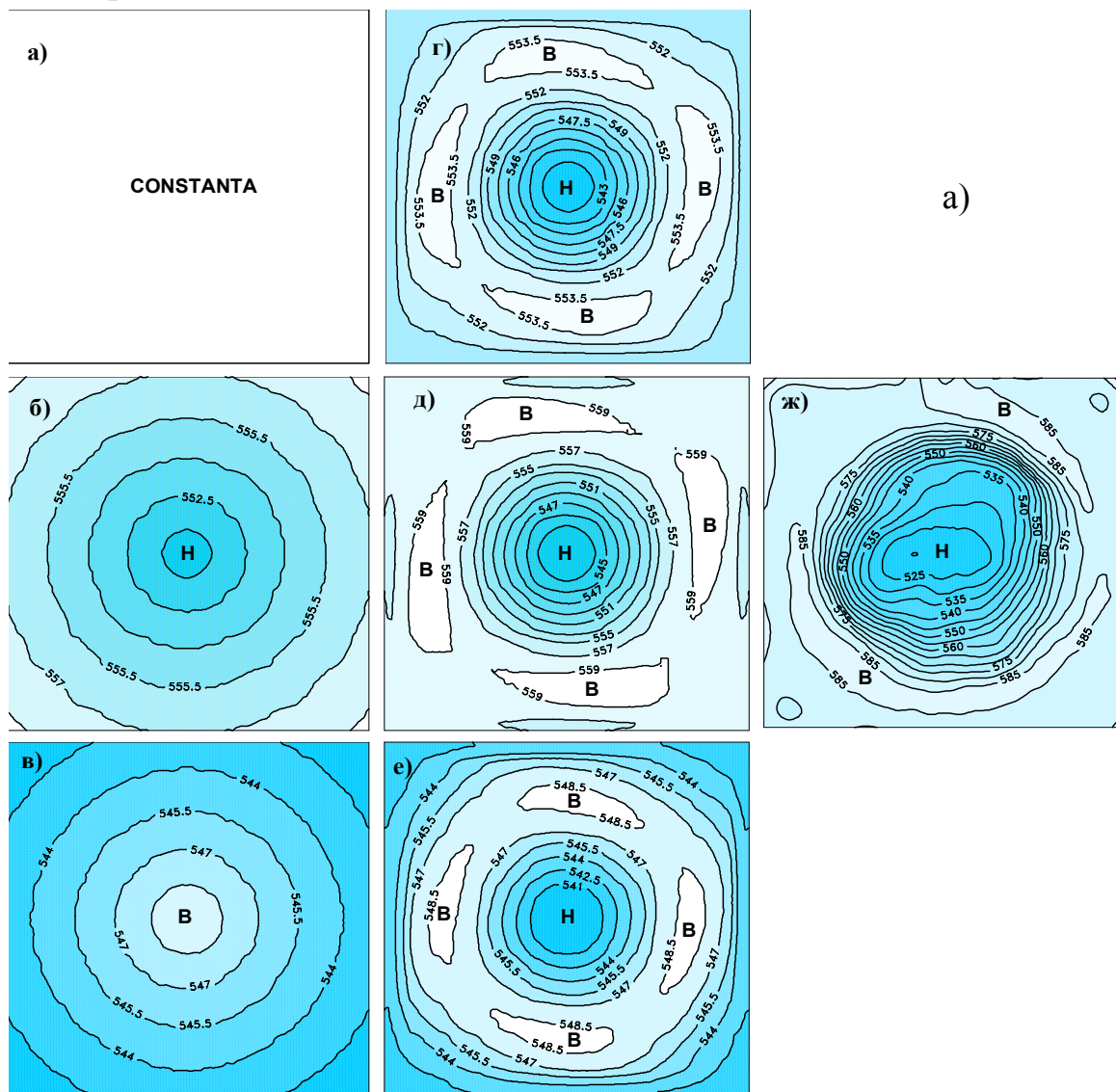


Рис. 3. Динамика поля геопотенциала 500 гПа (*г, д, е*) под действием силы причинности от невозмущенного (*а*), циклонического (*б*) и антициклонального (*в*) состояний, *ж* – климатическое поле геопотенциала поверхности 500 гПа (среднегодовое за 30 лет)

Уравнение Гельмгольца (20) решалось конечно-разностным методом с применением экстраполяционной процедуры Либмана на квадратной сетке с горизонтальным шагом 150 км по территории северного полушария. На границах моделируемой области задавались нулевые граничные условия.

В классическом варианте интегрирование по времени баротропного уравнение вихря (16) с начальным невозмущенным, циклоническим и

антициклональными состояниями поля с постоянным горизонтальным градиентом при отсутствии источника не изменяет эти состояния.

Ситуация резко меняется при учете силы причинности. На рисунке 3 представлены поля геопотенциала через 120 ч. интегрирования по времени с шагом 10 минут. Отметим, что на данном и последующих рисунках гринвичский меридиан проходит через левый нижний угол рисунка.

С введением силы причинности происходит эволюция поля геопотенциала, в результате которой возникает планетарная область пониженного давления с центром в полюсе.

Невозмущенное устойчивое состояние, заданное в виде константы, под действием силы причинности со временем эволюционирует в устойчивый циклонический вихрь (рис. 3 г).

Циклонический вихрь с центром в полюсе полностью не заполняется и представляет из себя устойчивую во времени барическую систему (рис. 3 д).

Антициклонический вихрь с центром в полюсе полностью разрушается. На его месте возникает устойчивый циклонический вихрь (рис. 3 е).

Во всех трех рассмотренных случаях возникает субтропическая область повышенного давления. Эволюционная картина моделируемых полей для северного полушария по трем сценариям практически совпадает с климатическим полем геопотенциала поверхности 500 гПа (рис. 3 ж).

Таким образом, данный результат прямо указывает на тот факт, что сила причинности при отсутствии иных источников определяет климатическое поле геопотенциала в соответствии с ее распределением как функции широты.

Рассмотрим динамику изменения классического геострофического ветра и *каусгеострофического* ветра. Первый будем рассчитывать по формулам (10), имея в виду, что поле геопотенциала Φ рассчитано по уравнению (20), то есть с учетом силы причинности, а второй – по соотношениям:

$$u = u_g + u_c, \quad v = v_g + v_c. \quad (21)$$

Напомним, что *каусстрофический* ветер определяется по соотношениям (12).

Динамика изменения поля модуля геострофического и *каусгеострофического* ветра до пяти суток над северным полушарием от начального состояния, заданного постоянной величиной, приведена на рисунке 4. Четко видно, что геострофический ветер незначительно отличается от *каусгеострофического*. Отсюда сразу следует, что вклад *каусстрофического* ветра в поле ветра, генерируемого моделью, незначителен. В противном случае он был бы обнаружен значительно раньше. Аналогичная картина наблюдается, когда начальное поле задано в виде циклонического или антициклонального образований.

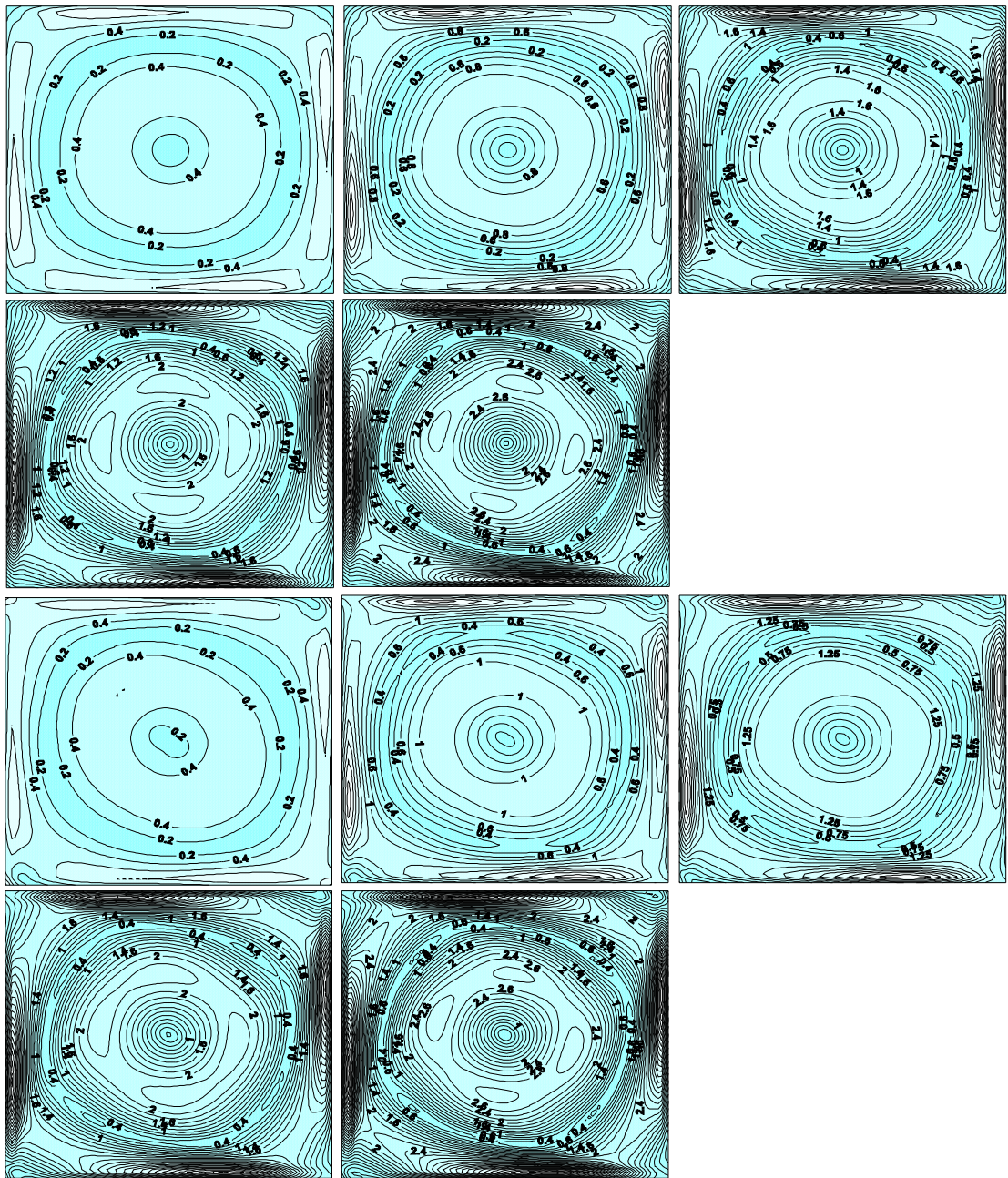


Рис. 4. Динамика модуля геострофического (а) и каустрофического (б) (500 гПа) ветра от начального состояния, заданного в виде константы, до пяти суток

Динамика поведения модуля геострофического и каустрофического ветра в этих ситуациях приведена на рисунках 5 и 6 соответственно.

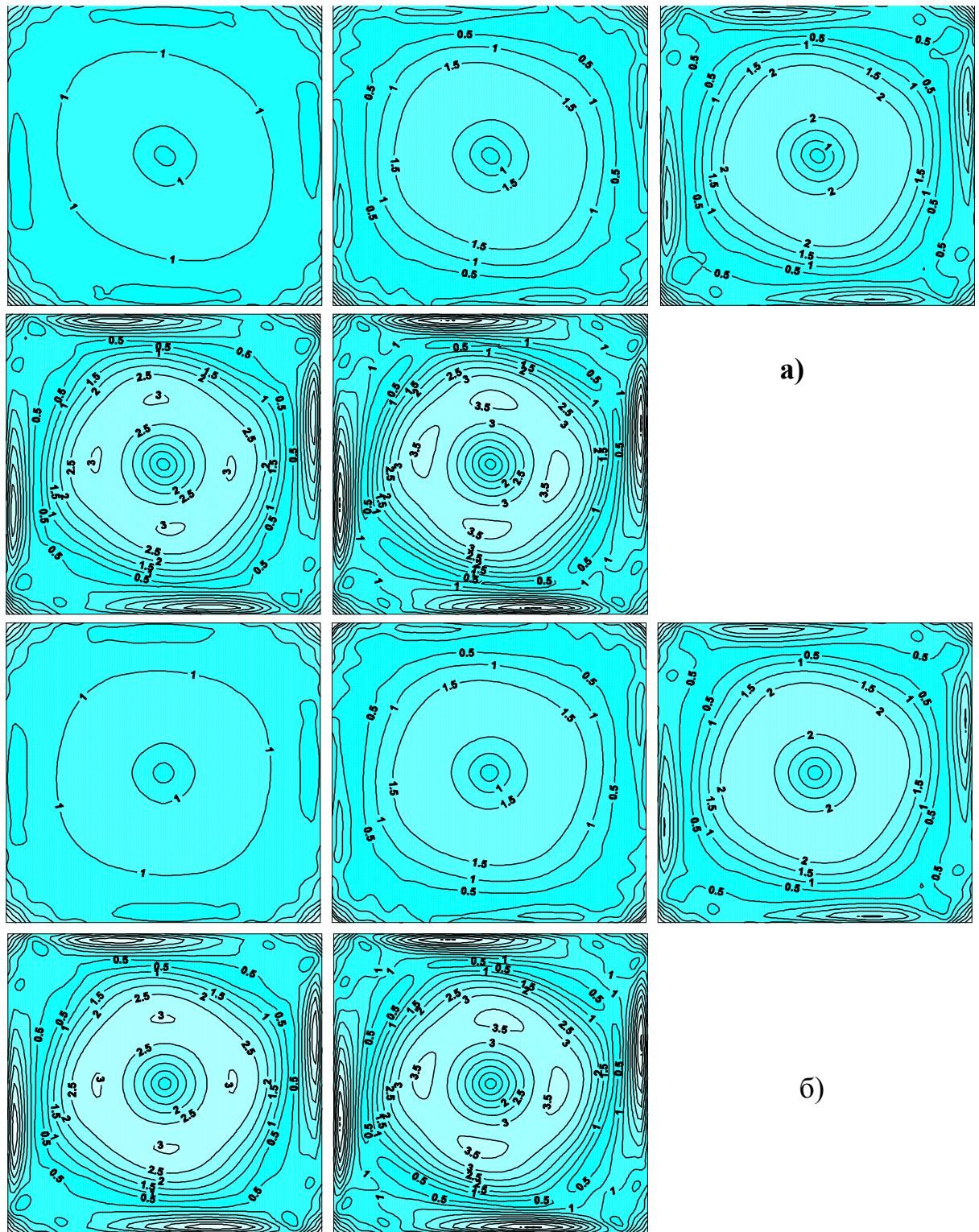


Рис. 5. Динамика модуля геострофического (а) и каустрофического (б) (500 гПа) ветра от начального состояния, заданного в виде циклона, до пяти суток

Если вклад каустрофического ветра незначителен, то возникает вопрос: «каким образом формируются совпадающие по своей структуре поля геопотенциала, представленные на рисунках 4-6, начальные состояния которых принципиально отличаются друг от друга?». Ответ на этот вопрос заключен в структуре соленоидальной и потенциальной составляющих ка-

устрофического ветра (рис. 2). Вихревая (соленоидальная) составляющая силы причинности формирует планетарный циклонический вихрь с центром над северным полюсом и антициклонический вихрь в субтропической зоне северного полушария.

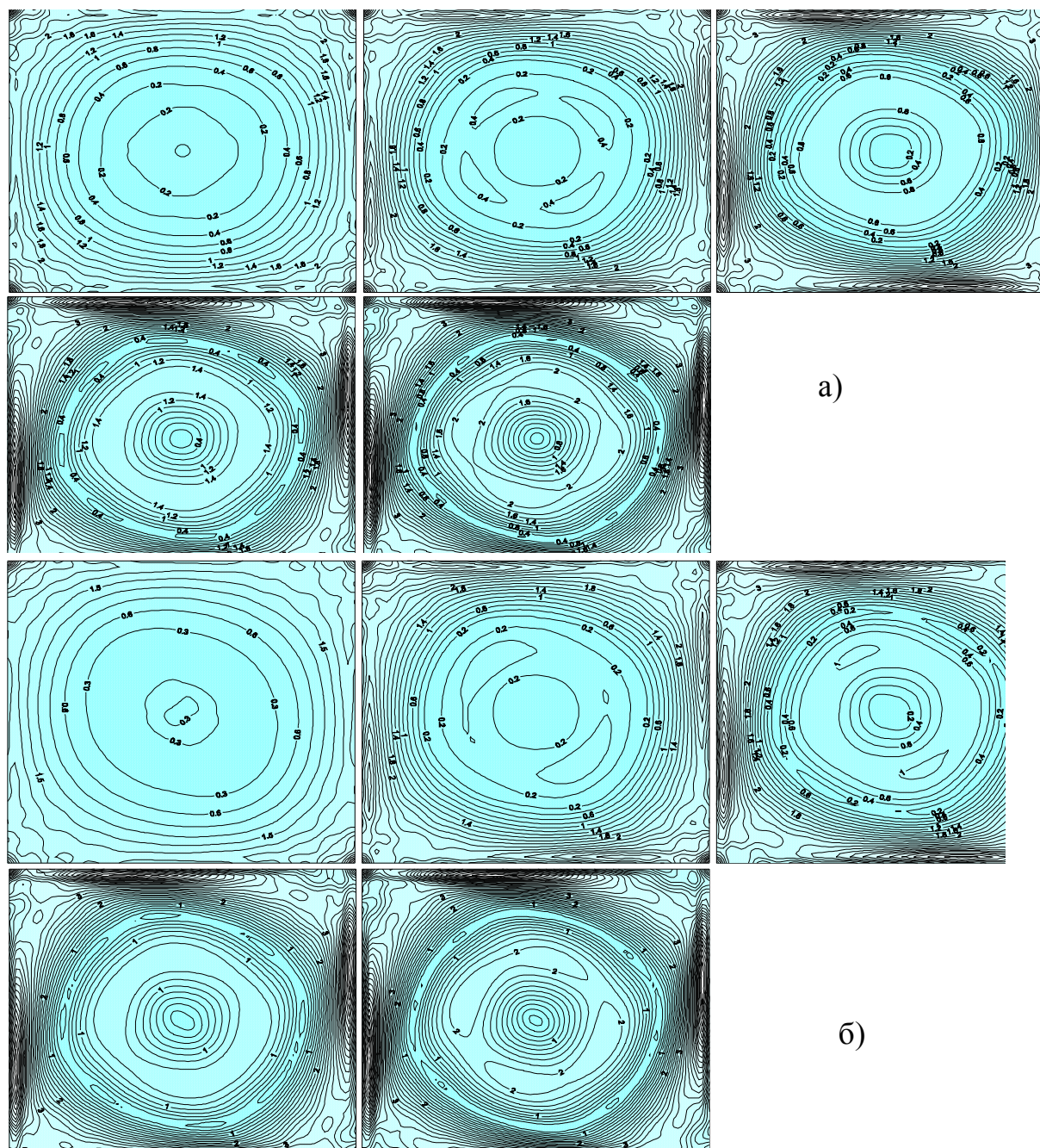


Рис. 6. Динамика модуля геострофического (а) и каусгеострофического (б) (500 гПа) ветра от начального состояния, заданного в виде антициклона, до пяти суток

Потенциальная (дивергентная) составляющая силы причинности окончательно формирует положение антициклонального вихря в субтропической зоне (субтропическое кольцо повышенного давления). В результате воздействия соленоидальной и потенциальной составляющих силы причинности и возникает характерная структура поля геопотенциала, представленная на рисунках 4-6.

Проведенные численные эксперименты (см. ниже) по эволюции полей геопотенциала на примере баротропного уравнения вихря скорости позволяют сформулировать следующее правило: *учет силы причинности в уравнениях движения гидродинамики необходимо осуществлять не через введения кастрофического ветра, а путем прямого учета потенциальной и соленоидальной составляющих этой силы.*

4 Численные эксперименты

Численные эксперименты выполнялись по баротропной модели на сроки до пяти суток, начиная от некоторого исходного состояния атмосферы, которое описывается данными аэрологических наблюдений поверхности 500 гПа по территории северного полушария. Основная цель эксперимента состояла в изучении динамики поведения геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа при учете влияния силы причинности. С целью более удобной интерпретации и оценки точности полученных прогнозов территория северного полушария была разбита на 4 сектора. Первый сектор заключен между меридианами 45° - 135° з.д. и покрывает территорию Америки и прилегающих акваторий Тихого океана. Второй сектор заключен между меридианами 135° з.д.- 135° в.д. и покрывает восточную часть Тихого океана. Третий сектор – между меридианами 45° з.д.- 45° в.д. и покрывает территорию Европы и Африки. Четвертый сектор – между меридианами 45° - 135° в.д. и покрывает территорию Азии и часть акватории Тихого океана.

Анализ поведения прогностических полей геопотенциала в варианте по классической модели (без учета силы причинности) показывает, что начиная с прогнозов с заблаговременностью от 96 часов и выше наблюдается рост неустойчивости в третьем секторе северного полушария, достигая наибольшего значения на пятые сутки.

Введение силы причинности в прогностическую модель приводит к росту прогностической изменчивости и деформации полей геопотенциала по сравнению с фактическими полями. Это указывает на тот факт, что сила причинности выступает как внешний источник. В результате интегрирования по времени возрастает суммарная потенциальная энергия поля геопотенциала. Поскольку в модели отсутствуют какие-либо механизмы диссипации энергии, то рост потенциальной энергии внешне проявляется через рост прогностической изменчивости поля геопотенциала. Таким образом, одновременно с введением силы причинности необходимо вводить механизм поглощения энергии, то есть наряду с источником должен существовать и сток. Нами использовался механизм, аналогичный механизму учета эффектов торможения воздушного потока о подстилающую поверхность с помощью коэффициента сопротивления. Введение такого механизма поглощения энергии в прогностическую модель позволило стабилизировать временной ход прогностической изменчивости поля геопотенциала.

В качестве количественных оценок точности прогнозов по двум вариантам были рассчитаны:

- коэффициент корреляции $R_{\text{фп}}$ между прогностическими и фактическими изменчивостями геопотенциала

$$R_{\text{пф}} = \frac{\sum_i (H_{\text{п}} - \bar{H}_{\text{п}})_i (H_{\text{ф}} - \bar{H}_{\text{ф}})_i}{\sqrt{\sum_i (H_{\text{п}} - \bar{H}_{\text{п}})_i^2} \sqrt{\sum_i (H_{\text{ф}} - \bar{H}_{\text{ф}})_i^2}}; \quad (22)$$

– относительная ошибка ε

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{\Delta_{\text{ф}}}, \quad (23)$$

где $\Delta = \frac{1}{n} \sum |H_{\text{п}} - H_{\text{ф}}|$, $\Delta_{\text{ф}} = \frac{1}{n} \sum |H_{\text{ф}} - H_{\text{исх}}|$.

В (23) $H_{\text{п}}$, $H_{\text{ф}}$, $H_{\text{исх}}$ – прогностические, фактические на момент прогноза и исходные поля геопотенциала соответственно;

– оценка совпадения градиентов S между фактическими и прогностическими полями геопотенциала – оценка Шумана [7]

$$S = \frac{\sum_i |(H_{\text{п}} - H_{\text{ф}})_i - (H_{\text{п}} - H_{\text{ф}})_{i+1}|}{\sum_i \max\{|(H_{\text{ф}})_i - (H_{\text{ф}})_{i+1}|; |(H_{\text{п}})_i - (H_{\text{п}})_{i+1}|\}}. \quad (24)$$

В целом, по территории северного полушария коэффициент корреляции между прогностическими $H_{\text{п}}$ и фактическими $H_{\text{ф}}$ полями геопотенциала поверхности 500 гПа изменяется незначительно до 48 часов и увеличивается (в случае учета силы причинности) с увеличением срока прогноза. При этом тенденция изменения $R_{\text{пф}}$ во времени неоднозначна для четырех секторов северного полушария. Так, в первом секторе коэффициент корреляции практически не изменяется до 120 ч. прогноза. Во втором секторе он резко уменьшается для прогноза с заблаговременностью от 24 до 72 часов и возрастает с увеличением срока прогноза до 120 часов. Поведение $R_{\text{пф}}$ в третьем и четвертом секторах аналогично поведению коэффициента корреляции в целом по всему северному полушарию.

Максимальный разброс коэффициента корреляции внутри четырех секторов северного полушария при прогнозе на 120 ч. в классическом варианте составляет 0,379, а при учете силы причинности – 0,268. В целом, по всему северному полушарию коэффициент корреляции для варианта модели с учетом силы причинности относительно классического варианта возрастает на 0,086.

При учете силы причинности наблюдается резкое увеличение кривизны для кривой оценки совпадения градиентов между фактическими и прогностическими полями геопотенциала (оценка Шумана) в сторону уменьшения их численных значений.

Таблица 3.1

**Оценка успешности баротропного прогноза в классическом варианте
и с учетом силы причинности**

Номер сектора	Срок прогноза, часы	Варианты модели					
		классическая			с учетом силы Q		
		$R_{пф}$	ε	S	$R_{пф}$	ε	S
I	24	0,801	0,67	40	0,793	0,71	41
	48	0,909	0,49	47	0,901	0,61	48
	72	0,888	0,49	60	0,887	0,57	60
	96	0,840	0,60	71	0,856	0,64	71
	120	0,872	0,50	72	0,869	0,58	75
II	24	0,745	0,70	33	0,670	0,70	35
	48	0,681	0,75	47	0,586	0,76	50
	72	0,686	0,71	55	0,631	0,77	58
	96	0,595	0,91	64	0,595	0,96	66
	120	0,543	1,03	70	0,619	1,01	69
III	24	0,859	0,52	35	0,869	0,54	35
	48	0,783	0,68	54	0,797	0,64	54
	72	0,685	1,02	67	0,713	0,89	65
	96	0,659	1,12	75	0,767	0,89	67
	120	0,528	1,31	87	0,665	0,99	73
IV	24	0,817	0,73	35	0,819	0,73	35
	48	0,807	0,68	51	0,818	0,66	49
	72	0,684	0,91	68	0,751	0,75	62
	96	0,507	1,12	81	0,549	0,95	74
	120	0,493	1,11	90	0,601	0,82	76
В целом по полушарию	24	0,801	0,65	36	0,798	0,67	36
	48	0,775	0,66	50	0,771	0,68	50
	72	0,708	0,80	63	0,726	0,76	62
	96	0,637	0,94	73	0,697	0,85	69
	120	0,607	0,98	81	0,693	0,84	73

Примечание: исходная дата 10.06.2000 г.

Максимальный разброс оценки S внутри четырех секторов северного полушария при прогнозе на 120 ч. в классическом варианте составляет 20 %, а при учете силы причинности – 7 %. В целом, по всему северному полушарию S для варианта модели с учетом силы причинности относительно классического варианта уменьшается на 8 %.

Ход относительной ошибки с увеличением заблаговременности прогноза в целом аналогичен ходу коэффициента корреляции: с увеличением срока прогноза, начиная с 72 ч., относительная ошибка в среднем по полушарию уменьшается.

Максимальный разброс относительной ошибки внутри четырех секторов северного полушария при прогнозе на 120 ч. в классическом варианте составляет 0,81, а при учете силы причинности – 0,43. Таким образом, по всему северному полушарию относительная ошибка для

варианта модели с учетом силы причинности относительно классического варианта уменьшается на 0,14.

Описанная выше изменчивость используемых количественных оценок (коэффициент корреляции, оценки Шумана, относительная ошибка) объясняется нарастающим влиянием фактора внешних источников с увеличением срока прогноза. Одним из таких источников является введенная в баротропную модель атмосферы сила причинности.

Заключение

Важная черта реакции вращающегося газа на влияние силы тяжести состоит в том, что он приспособливается не к состоянию покоя, а к некоторому состоянию равновесия.

В теоретической гидродинамике показано [9], что атмосфера Земли все время стремится быть близкой к состоянию геострофического равновесия, то есть равновесию между силами давления и Кориолиса. Наличие силы причинности приводит к совершенно новому состоянию равновесия – каустрофическому равновесию. Казалось бы, это новое состояние должно быть связано с равновесием сил Кориолиса и причинности, характеризуемое каустрофическим ветром. Численные эксперименты показали, что это не так. Вклад каустрофического ветра незначителен по сравнению с геострофическим ветром. Этим объясняется тот факт, что каустрофический ветер не был обнаружен ранее. Каустрофическое равновесие не соответствует состоянию статического равновесия между силами давления, Кориолиса и причинности. Принципиальное отличие геострофического равновесия от каустрофического состоит в том, что первое является статическим, а второе – динамическим.

Важно отметить, что введение единственного внешнего воздействия (силы причинности) в простую баротропную модель атмосферы действительно воспроизводит картину, качественно полностью совпадающую с климатическим полем геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа по территории северного полушария.

Введение силы причинности в баротропную модель атмосферы приводит к улучшению прогноза поля геопотенциала на сроки до 120 ч. При этом качество прогноза изменяется незначительно относительно классического варианта на сроки до 48 ч. и имеет тенденцию систематического улучшения с увеличением срока прогноза. Ни одна классическая численная модель подобных результатов в отношении улучшения точности прогноза с увеличением заблаговременности прогноза теоретически дать не может. Действительно, в классической механике состояние системы точечных частиц описывается координатами x_1, x_2, \dots, x_k и импульсами p_1, p_2, p_k . Энергия системы, записанная в этих координатах, имеет вид [15]

$$H = E_k(p_1, \dots, p_k) + E_p(x_1, \dots, x_k),$$

где E_k – кинетическая энергия (зависит только от импульсов), E_p – потенциальная энергия (функция только координат), H – гамильтониан. Если известен H , то движение системы полностью определено. Однако выражение гамильтониана получено путем игнорирования фундаментального свойства

времени – его необратимости: гамильтоновы уравнения инварианты относительно обращения времени.

Краткосрочные изменения метеорологических полей определяются в основном неоднородностью начального состояния атмосферы, то есть система приближенно может считаться замкнутой, для которой с достаточной точностью выполняется уравнение Гамильтона. Таким образом, в случае краткосрочного прогноза в первом приближении внешними источниками или стоками энергии можно пренебречь. С увеличением срока прогноза вследствие взаимной компенсации положительных и отрицательных вкладов суммарный эффект адвекции сводится к горизонтальному перемешиванию (вклад адвекции уменьшается), а роль притоков энергии извне непрерывно растет. В последнем случае систему никоим образом нельзя рассматривать как замкнутую, а значит для нее из-за направленности времени уравнение Гамильтона строго не применимо. Введение же силы причинности в численную модель прогноза погоды, во-первых, определяет дополнительный источник, ответственный за формирование климатического (в статистическом смысле) состояния поля геопотенциала и, во-вторых, косвенным образом вносит учет направленности времени, хотя преобразованная в данной работе система уравнений классической гидротермодинамики остается все же инвариантной относительно обращения времени.

Библиографический список

1. Арушанов, М.Л. Поток времени как физическое явление (по Н.А. Козыреву) / М.Л. Арушанов, С.М. Коротаев. – № 7598–889. – 67 с. – Деп. ВИНТИ,
2. Арушанов, М.Л. От реляционного времени к субстанциональному / М.Л. Арушанов, С.М. Коротаев. – Ташкент: САНИГМИ, 1995. – 137 с.
3. Арушанов, М.Л. Причинный анализ и его применение для изучения физических процессов в атмосфере / М.Л. Арушанов, С.М. Коротаев // Метеорология и гидрология. – 1994. – № 4. – С. 15-22.
4. Арушанов, М.Л. О необходимости учета эффектов причинной механики в гидродинамических моделях прогноза и климата / М.Л. Арушанов, А.М. Горячев // ДАН РУз. – 2002. – № 6. – С. 28-30.
5. Арушанов, М.Л. Новый взгляд на формирование фигуры Земли и особенности распределения некоторых геофизических характеристик / М.Л. Арушанов // Экологический вестник Узбекистана. – 1999. – № 4. – С. 14-19.
6. Арушанов, М.Л. Моделирование формирования фигуры Земли и некоторых геофизических полей на основе положений причинной механики / М.Л. Арушанов // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики. – 2000. – № 1. – С. 58-64.
7. Арушанов, М.Л. Эффекты причинной механики в метеорологии / М.Л. Арушанов, А.М. Горячев. – Ташкент: САНИГМИ. – 2003. – 103 с.
8. Белов, П.Н. Численные методы прогноза погоды / П.Н. Белов. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 392 с.

9. Динамическая метеорология. Теоретическая метеорология / под ред. Д.Л. Лайхтмана. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 594 с.
10. Козырев, Н.А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении / Н.А. Козырев. – Л.: Пулково, 1958. – 90 с.
11. Козырев, Н.А. Избранные труды / Н.А. Козырев. – Л.: ЛГУ, 1991. – 250 с.
12. Коротаев, С.М. О возможности причинного анализа геофизических процессов / С.М. Коротаев // Геомагнетизм и аэрономия. – 1992. – Т. 32, № 5. – С. 27–33.
13. Экспериментальное исследование нелокального взаимодействия макроскопических диссипативных процессов / С.М. Коротаев, М.О. Сорокин, В.О. Сердюк [и др.] // Физическая мысль России. – 1998. – № 2. – С. 1-17.
14. Коротаев, С.М. Проявление макроскопической нелокальности в геомагнитных и солнечно-атмосферных процессах / С.М. Коротаев, В.О. Сердюк, М.О. Сорокин // Геомагнетизм и аэрономия. – 2000. – Т. 40. – № 3. – С. 56-64.
15. Пригожин, И. От существующего к возникающему / И. Пригожин. – М.: Наука, 1985. – 327 с.
16. Шихобалов, Л.С. Причинная механика Н.А. Козырева: анализ основ / Л.С. Шихобалов // Козырев Н.А. Избранные труды. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. – С. 410-431.
17. Arushanov, M.L. Geophysical effects of causal mechanics / M.L. Arushanov, S.M. Korotaev // On the way to understanding the time phenomenon. The construction of time in natural science. Part 2. The «Active» Properties of time according to N. A. Kozyrev. – Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific, 1995. – P. 101-108.
18. Cramer, J.G. The transactional interpretation of Quantum Mechanics / J.G. Cramer // Rev.Mod. Phys. – 1986. – V. 58. – P. 647-688.
19. Cramer, J.G. Generalized absorber theory and the Einstein-Podolsky-Rosen paradox / J.G. Cramer // Phys. Rev. D. – 1980. – V.22, № 2. – P. 362-376.
20. Hoyle, F. Cosmology and action-at-a-distance electrodynamics / F. Hoyle, J.V. Narlikar // Rev. Mod. Phys. – 1995. – V. 67, № 1. – P. 113-156.
21. Peat, F.D. Black and Temporal Ordering / F.D. Peat // Nature. – 1972. – V 239, № 5372. – P. 387.
22. Wheeler, I.A. Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation / I.A. Wheeler, R.P. Feynman // Reviews of Modern Physics. – 1945. – V. 17, № 2. – P. 157-181.
23. Wheeler, I.A. Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action / I.A. Wheeler, R.P. Feynman // Reviews of Modern Physics. – 1949. – V. 21, № 3. – P. 425-433.