

М. Л. Арушанов

СИЛА ПРИЧИННОСТИ — ИСТОЧНИК ФОРМИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ФОНА НА ПЛАНЕТЕ¹

Показано, что учет козыревской силы (силы причинности) в уравнениях гидродинамики значительно улучшает прогноз полей геопотенциала на сроки до 10 дней. Этот результат является опосредованным доказательством корректности положений причинной механики Н. А. Козырева.

Arushanov M. L. The force of causality as a source of global climate setting formation. It is shown, that the account Kozyrev's forces (force of causality) in the equations of hydrodynamics significantly improves the forecast of fields of a geopotential for terms till 10 days. This result is the indirect demonstration of a correctness of positions of causal mechanics.

Одна из самых больших проблем, связанных с проверкой состоятельности выдвинутой Н. А. Козыревым гипотезы, — невозможность постановки эксперимента, в котором бы энергетика времени фиксировалась прямым измерением. Все выполненные Н. А. Козыревым и другими учеными эксперименты по определению физических свойств времени подтверждают эти свойства лишь косвенно, а появившиеся эффекты, следуя теоретическим положениям причинной механики, считаются проявлением свойств самого времени.

Рассматривая планету как гироскопическую систему, по пути косвенного доказательства состоятельности выдвинутой Н. А. Козыревым гипотезы о субстанциональности времени пошли и мы [2–4, 17, 18]². Основная идея состояла в следующем. Если в систему классических уравнений гидротермодинамики, используемую в гидродинамическом (численном) прогнозе погоды, ввести некую

¹ © М. Л. Арушанов, 2008.

² «Мы» — это Сергей Маратович Коротаев и автор данной статьи. Сначала (70-е годы) наша «команда» состояла из двух человек, и только в начале 90-х у нас появились сподвижники.

дополнительную силу (в нашем случае силу причинности), то если эта сила — фикция, очевидно, что полученное решение прогностической системы в виде прогностических барических полей будет содержать большие ошибки или, скорее всего, будет абсурдным. Если же эта сила реализуется Природой, то точность численного расчета прогностических полей должна быть, как минимум, не хуже рассчитанных без ее учета. Кроме того, опять же, если положения причинной механики верны, то введение силы причинности в классические уравнения гидротермодинамики превращают их в уравнения, *неинвариантные относительно обращения времени*. Такое превращение носит столь важный характер, что данное утверждение необходимо воспринимать как предположение, построенное на общих соображениях на основе анализа теоретических предпосылок причинной механики. Строгий подход к данной гипотезе возможен только при условии выполнения математической формализации этого предположения, что пока не осуществлено.

Нами в работе [18] получено выражение для козыревской силы [12] применительно к Земле и атмосфере как функция широты:

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

где \mathbf{j} — орт вращения; ρg — единичный объем, участвующий в суточном вращении Земли; ω — угловая скорость вращения Земли; r — ее радиус; φ — широта; C_2 — постоянная Козырева. Результаты выполненных по формуле (1) расчетов силы \mathbf{Q} оказались в хорошем согласии с результатами прямых измерений, проведенных Н. А. Козыревым на разных широтах Северного полушария [12].

Поскольку уравнения гидротермодинамики, описывающие атмосферные процессы, применяются к системе Земля–атмосфера, то в соответствии с положениями причинной механики необходимо установить, в области причин или следствий находится каждая составляющая этой системы. Этот вопрос был решен применением причинного анализа, разработанного С. М. Коротаевым [6, 13] при участии автора. В качестве исходных характеристик системы Земля–атмосфера, подвергающихся причинному анализу, с учетом очевидных соображений были рассмотрены эффективное излучение Земли и собственное излучение атмосферы в направ-

лении земной поверхности. Результаты выполненного анализа показали, что энтропийные параметры эффективного излучения земной поверхности («причина») и противоизлучение атмосферы («следствие») попадают в область «нормальной причинности» (параметр причинности $\gamma < 1$). Качественно данный результат можно прокомментировать на основе направления потока свободной энергии: поток энергии всегда направлен от причины к следствию. Так, твердое тело Земли отдает теплоту в окружающее пространство. Следовательно, его можно считать находящимся в области причин. Рассматривая систему Земля–атмосфера аналогичным образом, определяем атмосферу в области следствий, что полностью соответствует результатам выполненного причинного анализа радиационного баланса системы Земля–атмосфера. Таким образом, \mathbf{Q} в (1) берется со своим знаком для Земли и с обратным для атмосферы.

Анализ как функции широты вертикальной и горизонтальной составляющих силы \mathbf{Q} и ее дифференциальных операторов (дивергенция, ротор, потенциал) позволил объяснить ряд геофизических феноменов, не нашедших объяснения с классических позиций: зональную (кардиоидальность формы Земли) и тепловую асимметрию полушарий, распределение материковых и океанических зон, существование и сдвиг в Северное полушарие внутритропической зоны конвергенции [1, 4, 5, 7, 17, 18].

Краткосрочные изменения метеорологических полей определяются в основном неоднородностью начального состояния атмосферы, т. е. система приближенно может считаться замкнутой, для которой с достаточной точностью выполняется уравнение Гамильтона [16]. 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 возрастает. В последнем случае систему никоим образом нельзя рассматривать как замкнутую, а значит, для нее из-за направленности времени уравнение Гамильтона не может быть применено корректно.

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

$$-\frac{\partial\Phi}{\partial x} + lv = 0, \quad -\frac{\partial\Phi}{\partial y} - lu = 0, \quad (2)$$

где Φ — геопотенциал; l — параметр Кориолиса.

Ветер, удовлетворяющий системе (2), называется *геострофическим*. Его компоненты рассчитываются по формулам

$$u = -\frac{1}{l} \frac{\partial\Phi}{\partial y}, \quad v = \frac{1}{l} \frac{\partial\Phi}{\partial x}. \quad (3)$$

При циклонической форме циркуляции из (3) следует, что направление движения происходит против часовой стрелки, а при антициклональной — по часовой. Введя силу причинности в соотношениях (2), получим

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

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

Назовем *каустрофическим* такой ветер, который поддерживает состояние равновесия между силами Кориолиса и причинности:

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

Анализ распределения каустрофического ветра как функции широты показал, что для него характерны вынос воздушных масс из районов экватора вдоль деформационной оси сжатия и приток воздушных масс к экватору вдоль деформационной оси растяжения.

Горизонтальные составляющие скорости ветра можно представить в виде комбинации двух функций — функции тока Ψ и потенциала скорости φ :

$$u = -\frac{\partial\Psi}{\partial y} + \frac{\partial\varphi}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial\Psi}{\partial x} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}. \quad (4)$$

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

$$\Delta\Psi_g = \frac{1}{l} \Delta\Phi, \quad \Delta\varphi_g = 0. \quad (5)$$

Для каустрофического ветра соответствующие уравнения имеют вид

$$\Delta\Psi_c = (\text{rot}Q_\varphi)_z, \quad \Delta\Phi_c = (\text{div}Q_\varphi)_z. \quad (6)$$

где $(\cdot)_z$ — вертикальная составляющая соответствующих дифференциальных операторов силы причинности.

Подстановка решений уравнений (5) и (6) в (4) позволяет определить составляющие геострофического и каустрофического ветра через потенциальную и соленоидальную 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. Соленоидальная часть каустрофического ветра приводит к образованию циклонической циркуляции с центром на Северном полюсе, четырех изолированных антициклональных 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 с конвергенцией течений к району Северного полюса вдоль долготных кругов и дивергенцией течений в низких широтах по направлению к экватору. Суммарное распределение потенциальной и соленоидальной составляющих каустрофического ветра в общем напоминает картину, характерную для соленоидальной составляющей в северных и средних широтах (за исключением антициклональных циркуляций) и потенциальной составляющей в южных.

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 каустрофического ветра в высоких широтах Северного полушария.

В баротропной атмосфере уравнение вихря скорости имеет вид [8]

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + u \frac{\partial(\Omega+l)}{\partial x} + v \frac{\partial(\Omega+l)}{\partial y} = \frac{l}{H} \left(\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} \right), \quad (7)$$

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 составляющие ветра по осям x, y представляются соотношениями

$$u = -\frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial y}, \quad v = \frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (8)$$

где g — ускорение свободного падения. Подставляя (8) в (7), получаем выражение для баротропного уравнения вихря

$$\Delta \frac{\partial H}{\partial t} - \alpha^2 \frac{\partial H}{\partial t} = A_\Omega, \quad (9)$$

где

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

В отличие от классической механики причинная механика, построенная на непреложном факте необратимости времени, вводит понятие силы причинности. В результате в правой части уравнения (9) появляется член, представляющий собой численное значение ротора силы причинности (1):

$$\text{rot} Q_a = -\frac{\omega}{C_2} g \rho \left(\frac{3}{2} |\sin 2\varphi| \cos \varphi + |\sin \varphi| \cos 2\varphi - \frac{3}{\pi} \cos \varphi \right). \quad (10)$$

Уравнение (9) с учетом (10) принимает вид

$$\Delta \frac{\partial H}{\partial t} - \alpha^2 \frac{\partial H}{\partial t} = A_\Omega + A_Q, \quad (11)$$

где $A_Q = \frac{l}{g\rho} \text{rot} Q_a$.

Таким образом, уточнение баротропного уравнения вихря скорости в квазигеострофическом приближении заключается в добавлении к 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.

Для выяснения вклада силы причинности в баротропное уравнение вихря (11) были выполнены численные эксперименты с целью получения эволюции начального поля, заданного над Северным полушарием в виде невозмущенного (const), циклонического и антициклонического полей геопотенциала поверхности 500 гПа. Последние задавались с центром в полюсе (рис. 1, б, в).

Уравнение Гельмгольца (11) решалось конечно-разностным методом с применением экстраполяционной процедуры Либмана на квадратной сетке с горизонтальным шагом 300 км по территории Северного полушария. На границах моделируемой области задавались нулевые граничные условия.

В классическом варианте баротропного уравнения вихря (7) как невозмущенное, так и циклоническое и антициклоническое состояния поля с постоянным горизонтальным градиентом никакой эволюции претерпеть не могут и не претерпевают, оставаясь постоянными (в определенном смысле инвариантными относительно начального состояния) на протяжении всего времени прогноза, т. е. не изменяются с течением времени.

Ситуация резко меняется при учете силы причинности. На рис. 1 представлены поля геопотенциала через 120 ч интегрирования по времени. Отметим, что гринвичский меридиан проходит через левый нижний угол рисунка.

С введением силы причинности в прогностическое баротропное уравнение происходит эволюция поля геопотенциала:

а) исходное (начальное) поле, заданное в виде константы, эволюционирует в планетарную область пониженного давления с центром в полюсе (рис. 1, а);

б) циклонический вихрь с центром в полюсе полностью не заполняется и представляет собой устойчивую во времени барическую систему (рис. 1, б);

в) антициклональный вихрь с центром в полюсе полностью разрушается. На его месте возникает устойчивый циклонический вихрь (рис. 1, в). Во всех трех модельных вариантах возникает субтропическая область повышенного давления. Таким образом, поля геопотенциала независимо от начальных условий, вычисленные

по полусферной численной модели, включающей в себя силу причинности, эволюционируют в устойчивое циклоническое поле с центром в полюсе, опоясанное субтропическим кольцом повышенного давления. Оказалось, что описанное распределение поля геопотенциала, полученное в результате решения прогностического баротропного уравнения вихря (11), точно соответствует климатическому распределению поля геопотенциала поверхности 500 гПа (рис. 1, ж). Важность этого результата трудно переоценить. Во-

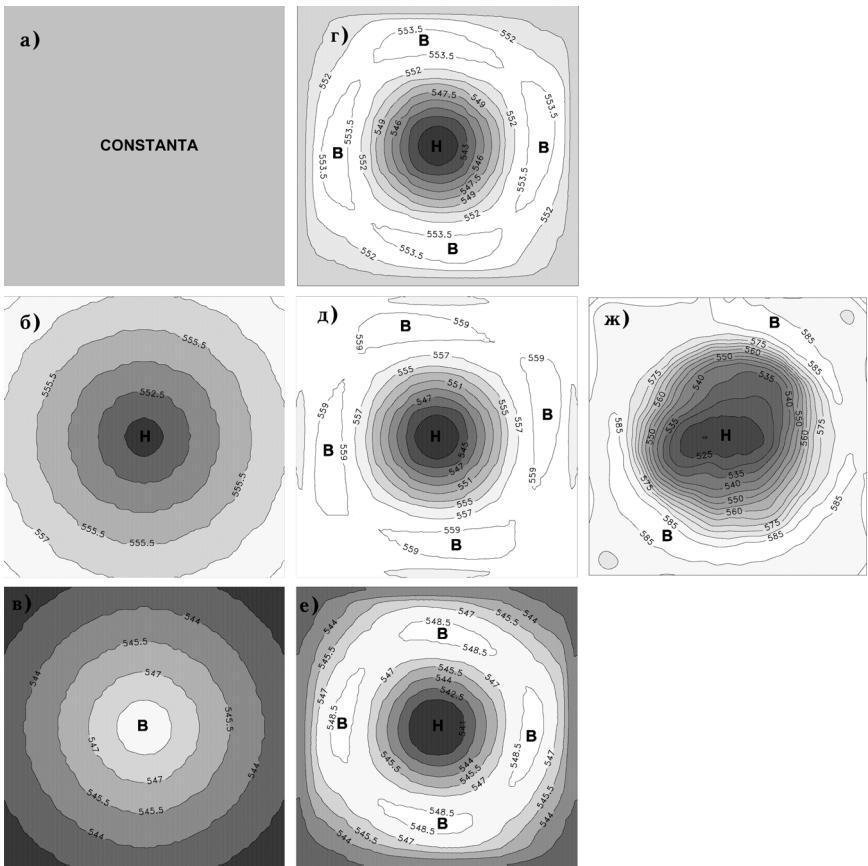


Рис. 1. Эволюция поля геопотенциала 500 ГПа в течение 5 сут (г) под действием силы причинности от невозмущенного (а), циклонического (б) и антициклонического (в) состояний; ж — климатическое поле геопотенциала поверхности 500 ГПа (среднегодовое по выборке за 30 лет)

первых, он убедительно показывает реальное существование силы причинности в Природе в соответствии с учением профессора Н. А. Козырева. Во-вторых, полученный результат открывает новое направление исследований в области физических процессов в атмосфере, с одной стороны, и, с другой, требует тщательного анализа, а точнее, ревизии, существующих прогностических численных моделей прогноза погоды.

Прежде чем перейти к дальнейшему анализу полученных результатов, необходимо затронуть вопрос: «Каким образом практически за столетие, метеорологам не удалось обнаружить реально действующую на атмосферные процессы силу». Оказалось, что ответ лежит на поверхности. Численные расчеты показали, что каустрофический ветер незначительно отличается от геострофического, т. е. вклад каустрофического ветра в поле ветра, генерируемого моделью, незначителен. Тогда возникает следующий вопрос: «Каким образом формируются совпадающие по своей структуре поля геопотенциала, начальные состояния которых принципиально отличаются друг от друга». На этот вопрос ответ заключен в структуре соленоидальной и потенциальной составляющих каустрофического ветра: вихревая (соленоидальная) составляющая силы причинности формирует планетарный и циклонический вихри с центром над Северным полюсом и антициклонический вихрь в субтропической зоне Северного полушария. Потенциальная (дивергентная) составляющая силы причинности окончательно формирует положение антициклонического вихря в субтропической зоне (субтропическое кольцо повышенного давления [9]). В результате действия соленоидальной и потенциальной составляющих силы причинности и возникает характерная структура поля геопотенциала. Отсюда следует важный практический вывод: *силу причинности в уравнениях движения гидродинамики необходимо учитывать не путем введения каустрофического ветра, а путем прямого учета потенциальной и соленоидальной составляющих этой силы.*

С целью оценки состоятельности краткосрочных (48 ч) и среднесрочных (до 240 ч) прогнозов поля геопотенциала было выполнено численное решение баротропного уравнения, заданного в виде уравнения (9) — классический случай, и в виде уравнения (11) — с учетом силы причинности. По данным архивных материа-

лов были рассчитаны 100 прогнозов. Анализ полученных прогностических полей выявил следующие чрезвычайно важные особенности уточненного баротропного уравнения вихря скорости¹ (11).

В классическом варианте (9) при заблаговременности прогноза от 96 ч и более наблюдается резкий рост неустойчивости численной модели, которая «взрывается» на седьмые сутки. Для данной модели — это очевидный результат, ибо здесь искусственно, путем увеличения предела интегрирования по времени заданного уравнения, замкнутая система «размыкается», т. е. определяющими становятся источники, которые никоим образом не учтены данным уравнением.

Совершенно иная картина наблюдается при решении уравнения (11). До значений пределов интегрирования, равных двум суткам, результаты прогноза по двум моделям практически идентичны. При увеличении пределов интегрирования по времени введение силы причинности в прогностическую модель приводит к росту прогностической изменчивости и деформации полей геопотенциала по сравнению с фактическими полями. Это указывает на то, 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, рост потенциальной энергии внешне проявляется через рост прогностической изменчивости поля геопотенциала. Это обстоятельство прямо указывает на необходимость введения вместе с силой причинности (источника) механизма поглощения энергии (стока). Нами этот механизм был введен аналогично механизму учета эффектов торможения воздушного потока подстилающей поверхностью с помощью коэффициента сопротивления [10]. В результате временной ход прогностической изменчивости полей геопотенциала стабилизировался, а устойчивость «причинной модели» по сравнению с классической стала существенно выше, вплоть до интегрирования по времени до десяти суток (большие пределы интегрирования по времени не рассматривались). Оценка точности выполненных про-

¹ Компьютерная реализация модели и анализ полученных результатов выполнялись при активном участии ведущего научного сотрудника НИГМИ Узгидромета, канд. физ.-мат. наук А. М. Горячева.

гнозов (рис. 2) по двум моделям дала совершенно неожиданный результат, который после тщательного анализа оказался очевидным, вытекающим из положений причинной механики, а именно, с увеличением срока прогноза точность прогноза, выполненного с учетом силы причинности, обнаруживает тенденцию к улучшению. Ни одна прогностическая классическая модель, в принципе, по очевидным причинам не может показать такой результат. В случае прогнозов, выполненных с заблаговременностью до 48 ч включительно (краткосрочные прогнозы), атмосферу можно рассматривать как изолированную среду, для которой справедливы уравнения Гамильтона. В случае среднесрочных и долгосрочных прогнозов определяющими становятся источники энергии, так как главенствующую роль приобретают неadiaбатические процессы, и атмосфера категорически должна рассматриваться как открытая система, для которой уравнения Гамильтона выполняются не строго. В противном случае игнорируется свойство необратимости времени, а вместе с ним и вопрос причинности событий. Из-за невозможности в рамках детерминизма проследить причинно-следственные связи на достаточно длительном интервале времени применяется феноменологический

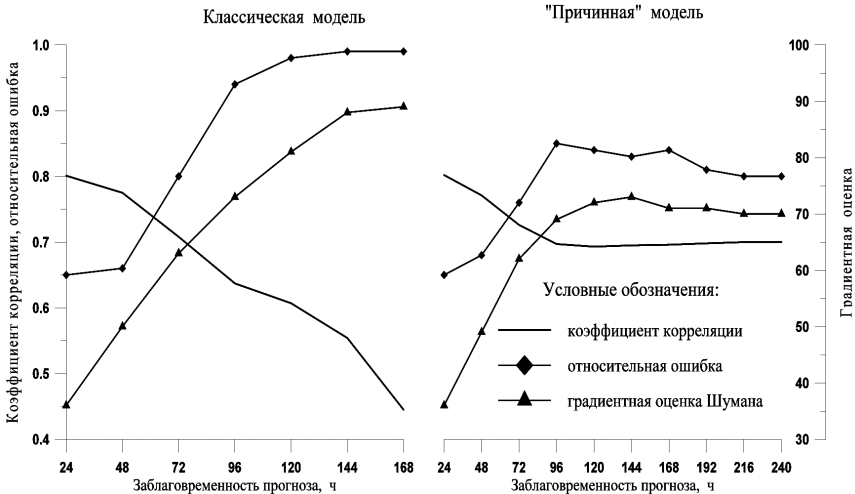


Рис. 2. Оценки успешности баротропного прогноза полей геопотенциала 500 ГПа по Северному полушарию в классическом варианте и с учетом силы причинности, осредненные по 100 прогнозам и узлам регулярной сетки с шагом 300 км

принцип [14, 15], широко распространенный еще с древних времен. Его суть состоит в определении причин по наблюдаемым следствиям. Этот подход создает иллюзию возможности обойти проблему предсказуемости, которая неизбежно возникает в рамках классического детерминизма. По сути же, как только мы выходим за рамки классического детерминизма и во главу угла ставятся причинные связи, указанная проблема становится искусственной, что и было показано на примере прогноза полей геопотенциала в классическом и «причинном» вариантах.

Примечание. В качестве оценок точности прогнозов использовались:

- коэффициент корреляции $R_{\text{нф}}$ между прогностической и фактической изменчивостью геопотенциала поверхности 500 ГПа

$$R_{\text{нф}} = \frac{\sum_i (H_{\text{н}} - \bar{H}_{\text{н}})_i (H_{\text{ф}} - \bar{H}_{\text{ф}})_i}{\sqrt{\sum_i (H_{\text{н}} - \bar{H}_{\text{н}})_i^2} \sqrt{\sum_i (H_{\text{ф}} - \bar{H}_{\text{ф}})_i^2}};$$

- относительная ошибка ε

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{\Delta_{\text{ф}}},$$

где

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum |H_{\text{н}} - H_{\text{ф}}| \quad \Delta_{\text{ф}} = \frac{1}{n} \sum |H_{\text{ф}} - H_{\text{исх}}|;$$

$H_{\text{н}}$, $H_{\text{ф}}$, $H_{\text{исх}}$ — прогностические, фактические (на момент прогноза) и исходные поля геопотенциала соответственно;

- оценка совпадения градиентов S между фактическими и прогностическими полями геопотенциала;
- оценка Шумана

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

В заключение заметим следующее. Важная черта реакции вращающегося газа на влияние силы тяжести состоит в том, что он приспособляется не к состоянию покоя, а к некоторому состоянию равновесия. В соответствии с классической гидродинамикой [11] атмосфера Земли все время стремится к состоянию геострофического равновесия, т. е. 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, характеризуемым каустрофическим ветром. Численные эксперименты показали, что это не так. Вклад каустрофического ветра незначителен по сравнению с геострофическим. 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, что прямо указывает на реальность существующей в Природе силы причинности. Таким образом, сила причинности выполняет по отношению к атмосферным процессам ту же роль, которую играет при формировании фигуры планеты, а именно, создает фоновое поле климата планеты.

Введение силы причинности в баротропную модель атмосферы приводит к улучшению полусферного баротропного прогноза поля геопотенциала на сроки до 240 ч. При этом точность прогноза относительно классического варианта на сроки до 48 ч практически совпадает. С увеличением заблаговременности прогноза точность «причинной» модели выше точности классической. При этом отмечается тенденция систематического улучшения оценок прогноза с увеличением срока прогноза. Данная тенденция является прямым следствием положений причинной механики, указывающих на необходимость учета направленности времени в прогностических уравнениях гидродинамики.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арушанов М. Л. Моделирование формирования фигуры Земли и некоторых геофизических полей на основе положений причинной механики // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». 2000. № 1. — С. 58–64.

2. Арушанов М. Л. Опосредованное доказательство корректности положений причинной механики Н. А. Козырева // Проблемы времени в куль туре, философии и науке. — Шахты: ЮРГУЭС, 2006. — С. 92–110.
3. Арушанов М. Л., Горячев А. М. О необходимости учета эффектов причинной механики в гидродинамических моделях прогноза и климата // Докл. АН РУз. 2002. № 6. — С. 38–40.
4. Арушанов М. Л., Горячев А. М. Эффекты причинной механики в метеорологии. — Ташкент: САНИГМИ. 2003. — 102 с.
5. Арушанов М. Л., Коротаев С. М. Поток времени как физическое явление (по Н. А. Козыреву). — 67 с. Деп. ВИНТИ. № 7598–В89.
6. Арушанов М. Л., Коротаев С. М. Причинный анализ и его применение для изучения физических процессов в атмосфере // Метеорология и гидрология. 1994. № 4. — С. 15–22.
7. Арушанов М. Л., Коротаев С. М. От реляционного времени к субстанциональному. — Ташкент: САНИГМИ, 1995. — 238 с.
8. Белов П. Н. Численные методы прогноза погоды. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 392 с.
9. Динамика климата / Под ред. С. Манабе. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 574 с.
10. Динамическая метеорология. Теоретическая метеорология / Под ред. Д. Л. Лайхтмана. — Л.: Гидрометеиздат. 1976. — 594 с.
11. Кибель И. А. Введение в гидродинамические методы прогноза погоды. — М.: Гостехиздат, 1957. — 248 с.
12. Козырев Н. А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. — Л.: Пулково: [Б.и.], 1958. — 90 с.
13. Коротаев С. М., Шабелянский С. В., Сердюк В. О. Обобщенный причинный анализ и его применение для изучения электромагнитного поля в море // Изв. РАН. Физика Земли. 1992. № 6. — С. 77–86.
14. Мусаелян Ш. А. О природе некоторых сверхдлительных атмосферных процессов. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 141 с.
15. Мусаелян Ш. А. Проблема предсказуемости состояния атмосферы и гидродинамический долгосрочный прогноз погоды. — М.: Гидрометеиздат, 1984. — 83 с.
16. Пригожин И. От существующего к возникающему. — М.: Наука, 1985. — 327 с.
17. Arushanov M. L., Goryachev A. M. To a problem on necessity of the registration of effects of a causal mechanics on an example of simple barotropic model of an atmosphere // Meteorolog. Atmos. Phys. 2004. № 3. — P. 10–18.
18. Arushanov M. L., Korotaev S. M. Geophysical effects of causal mechanics // On the Way to Understanding the Time Phenomenon: the Construction of Time in Natural Science. — Singapore; New Jersey; London: World Scientific. 1995. — P. 101–108.