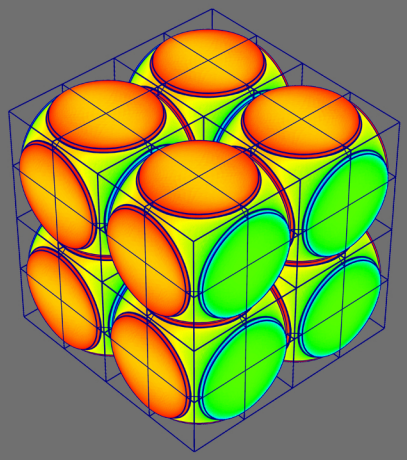
ISSN 2309-3684



Математическое моделирование и численные методы

Пархоменко В.П. Моделирование процесса перехода от палеоклимата к совре- менному в результате сильного изменения условий. Математическое моделирова- ние и численные методы, 2017, No 3, с. 105–118.

Источник: https://mmcm.bmstu.ru/articles/144/

Параметры загрузки:
IP: 216.73.216.140
11.11.2026 16:26:25

УДК 551.513 DOI 10.18698/2309-3684-2017-3-105118

Моделирование процесса перехода от палеоклимата к современному в результате сильного изменения условий

© В.П. Пархоменко

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук, Москва, 119333, Россия
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Приведены результаты численных расчетов по описанию климата Земли при смещении ее оси вращения, о возможности которого имеются некоторые геологические, археологические и исторические данные. При этом предполагается сохранение угла наклона оси к плоскости эклиптики. Проведены расчеты по моделированию процесса перехода от палеоклимата к современному в результате смещения оси вращения Земли в современное положение. Вычисления проведены на основе гидродинамической трехмерной глобальной модели климата. Предложена процедура вычисления скорости ветра в энерговлагобалансовой модели атмосферы. Развита методика формирования и использования необходимых карт и связей между ними при повороте оси вращения Земли.

Ключевые слова: *глобальная климатическая модель, палеоклимат, численные эксперименты*

Введение. Имеются некоторые геологические и исторические свидетельства, позволяющие сделать предположение о существовании теплого климата в Северо-Восточной Сибири 12–24 тыс. лет назад [1–3]. Одним из объяснений этого может служить другое положение географического Северного полюса и, соответственно, оси вращения Земли до этого времени [4, 5].

Основатель теории дрейфа континентов А. Вегенер полагал, что географический Северный полюс в эпоху последнего поздневалдайского (осташковского) оледенения 12–24 тыс. лет назад располагался почти в самом центре Гренландии, приблизительно на 15 градусов южнее его современного положения [4]. В этом случае распределение климатических зон в Арктическом регионе должно было быть другим. В настоящее время Северный полярный круг (66° с. ш.) пересекает значительную часть севера Азии (Чукотку, Западную и Восточную Сибирь) и полярной области Северной Америки (Арктическую Канаду, Аляску). В указанный период он должен был проходить по северной границе Аляски и Чукотки (через острова Северная Земля и Новая Земля и в акватории современного Северного Ледовитого океана). Внутри Северного полярного круга должны были располагаться значительная часть Скандинавии, северная часть полуострова Лабрадор в Канаде, а также северная часть Ирландии и

Великобритании. Исходя из этого, можно сделать вывод, что основная часть территории Аляски и Северо-Восточной Азии должна была находиться в области с умеренным климатом, хвойными и широколиственными лесами и степями.

В работе [5] сформулировано еще более радикальное предположение о расположении географического Северного полюса в этот период, — в районе полуострова Лабрадор, в точке, географическая широта которой соответствует сейчас 60° с. ш.

Причиной смещения географического Северного полюса может быть изменение положения оси вращения Земли [6]. В последние годы предложена теория, объясняющая механизм глобального изменения климата и катастрофических изменений на Земле проскальзыванием литосферы, приводящим к смещению географических полюсов Земли [5, 6]. Ее суть заключается в следующем. Земная кора вместе с литосферой покоится на астеносфере. Толщина литосферы составляет от 1–5 км в океанах до 50–100 км на материках при общем радиусе Земли — около 6370 км. Литосфера при сильном воздействии на нее (например, при касательном ударе летящего со скоростью 50 км/с астероида диаметром 20 км) может проскальзывать по жидкой астеносфере, причем изменение вращения всего гироскопа, в данном случае Земли, заметно не будет. Наклон оси вращения Земли по отношению к плоскости эклиптики при этом не меняется.

В настоящей работе на основе этой теории проведены численные эксперименты по определению климата Земли при смещении оси вращения без изменения ее наклона к плоскости эклиптики. Также проведены расчеты по моделированию процесса перехода от палеоклимата к современному климату в результате смещения оси вращения Земли в современное положение. Расчеты проведены с использованием климатической модели и развитой методики формирования карт при повороте оси вращения Земли.

Описание модели климата. Основными элементами глобальной климатической системы являются Мировой океан, атмосфера, морской лед и почвенный слой.

Система уравнений модели океана рассматривается в геострофическом приближении [7] с фрикционным членом в уравнениях импульса по горизонтали. Значения температуры и солености удовлетворяют адвекционно-диффузионным уравнениям, что позволяет описать термохалинную циркуляцию океана. Приближенно учитываются конвективные процессы [8–10].

Для дальнейших расчетов запишем следующие основные уравнения, записанные в локальных декартовых координатах (x, y, z) (где x, y — горизонтальные координаты; z — высота, направленная вверх):

- импульса по горизонтали

$$-lv+\lambda u=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau_x}{\partial z},\ lu+\lambda v=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial \tau_y}{\partial z};$$

- неразрывности

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial y}=0;$$

- гидростатики

$$\frac{\partial p}{\partial z}=-\rho g;$$

- состояния морской воды

$$\rho=\rho(S,T);$$

- переноса и диффузии трассеров X (температуры и солености)

$$\frac{d}{dt}X=k_h\nabla^2 X+\frac{\partial}{\partial z}\left(k_v\frac{\partial X}{\partial z}\right)+C.$$

Здесь l — параметр Кориолиса; u, v, w — компоненты вектора скорости; λ — переменный в пространстве фрикционный член, увеличивающийся к береговым границам и экватору; ρ — плотность воды; p — давление; τ_x, τ_y — компоненты напряжения трения ветра; g — ускорение свободного падения; S — соленость; T — температура; k_v, k_h — коэффициенты турбулентной диффузии трассеров по вертикали и горизонтали соответственно; C — источники.

Условие отсутствия нормального потока тепла и солей принимается на всех границах. Океан подвергается воздействию напряжения трения ветра на поверхности. Потоки T и S на поверхности определяются взаимодействием с атмосферой.

В термодинамической модели морского льда [9, 10] динамические уравнения рассматриваются для сплоченности льда и средней толщины льда. Рост и таяние льда в модели определяются только разностью значений потоков тепла из атмосферы в морской лед и тепла изо льда в океан. Температура поверхности льда определяется из диагностического уравнения.

Для описания процессов, протекающих в атмосфере, используется энерговлагобалансовая модель или модель общей циркуляции атмосферы. В данной работе используем первую из них. Прогностическими переменными являются температура T_a воздуха и удельная влажность q_a в нижнем слое атмосферы. В модели решается уравне-

ние для T_a, определяющее баланс Q_{ta} приходящего и уходящего радиационных потоков, явных (турбулентных) обменов потоками тепла с подстилающей поверхностью, высвобождения скрытого тепла из-за осадков и однослойной параметризации горизонтальных процессов переноса. Источники в уравнении переноса для удельной влажности q_a определяются осадками, испарением и сублимацией с подстилающей поверхности. Учтена возможность выпадения осадков в виде снега. Уравнения для баланса тепла и влаги атмосферы (на единицу площади) имеют следующий вид:

$$\rho_a h_t C_{pa}\left(\frac{\partial T_a}{\partial t}+\beta_T\nabla(\vec{u}T_a)-\nabla(\nu\nabla T_a)\right)=Q_{ta},$$

$$\rho_a h_q\left(\frac{\partial q_a}{\partial t}+\beta_q\nabla(\vec{u}q_a)-\nabla(\kappa\nabla q_a)\right)=\rho_0(E-P).$$

Здесь ρ_a, ρ_0 — плотности воздуха и воды; h_t, h_q — толщины атмосферных пограничных слоев для температуры (8400 м) и влажности (1800 м) соответственно; C_{pa} — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; $\vec{u}$ — вектор горизонтальных компонент скорости ветра; ν и κ — коэффициенты турбулентной диффузии для температуры и влажности соответственно; Q_{ta} — суммарный поток тепла в атмосферу; E — скорость сублимации; P — скорость выпадения осадков. Параметры β_T и β_q являются масштабными множителями для оценки вклада адвективного переноса. Параметры, входящие в уравнения модели, определяются эмпирически из условия соответствия результатов данным наблюдений [11].

Все блоки модели связаны между собой с помощью обмена импульсом, теплом и влагой. Используются реальная конфигурация материков и распределение глубин Мирового океана [8–10]. Вертикальные уровни модели океана равномерно распределены в логарифмических координатах так, что верхние слои тоньше, чем нижние. В настоящей модели используются 8 вертикальных уровней. Максимальная глубина принята равной 5000 м.

Математическое и численное моделирование — эффективные инструменты для исследования климатической системы и прогнозирования изменений климата. Современное моделирование осуществляется с помощью мощных программных средств, в том числе отечественных, например, разработанных для решения задач нестационарной газодинамики многокомпонентного газа [12–15].

Уравнения модели в сферической системе координат решаются численным конечно-разностным методом. Шаг по времени — сутки. Прогностические уравнения модели решаются методом центральных

разностей второго порядка по пространству и простыми разностями вперед по времени. В модели используется равномерная по долготе и синусу широты конечно-разностная сетка 72×72 ячейки. Разрешение модели по долготе составляет 5°, а по широте оно изменяется приблизительно от 1,5° у экватора до 10° у полюсов. Начальное состояние системы характеризуется постоянными температурами океана, атмосферы и нулевыми скоростями течений океана. Расчеты показывают, что модель выходит на равновесие примерно за 2000 лет.

Поле скоростей ветра в энерговлагобалансовой модели атмосферы исходно определяется из данных наблюдений и при изменении состояния или параметров климатической системы не меняется. Здесь предлагается процедура определения поля скоростей ветра по полю приземной температуры атмосферы на основе геострофического подхода, учета термальной составляющей ветра и введения механизма трения о подстилающую поверхность, что позволяет качественно верно описывать поле скоростей ветра в зависимости от состояния климатической системы.

Численные эксперименты. Проведенные расчеты концептуально соответствуют теории [5], описанной выше. Предполагается, что ось вращения Земли смещается таким образом, что Северный полюс находится в точке 60° с. ш. и 90° з. д. На рис. 1 показана конфигурация материков (серый цвет) на расчетной сетке для этого случая, полученная с помощью разработанной системы преобразования карт и расчетной сетки. Круги обозначают современное положение оси вращения Земли (т. е. географических полюсов). Конфигурация материков, которая используется в модели картографической проекции, претерпела значительные изменения. Так, например, Антарктида сместилась к экватору.

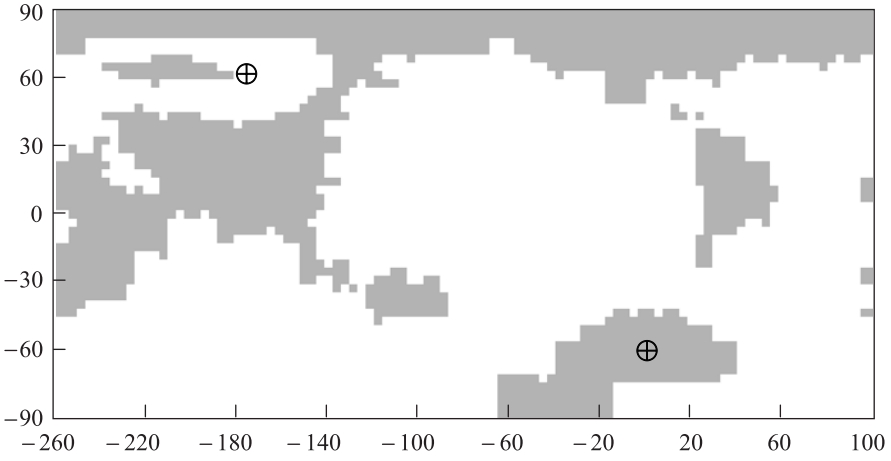


Рис. 1. Конфигурация материков (серый цвет) на расчетной сетке при повороте оси вращения Земли

В таблице представлены некоторые среднегодовые глобальные характеристики результатов расчетов палеоклимата и современного климата. Отметим достаточно сильные изменения: температура атмосферы понизилась на 0,6 °С, влажность уменьшилась на 5 %, толщина морского льда уменьшилась на 0,5 м, а его площадь — на 64 %.

Глобальные характеристики климата

Характеристика	Современный климат	Палеоклимат
Температура атмосферы, °С	14,100	13,500
Влажность атмосферы	0,0114	0,0106
Толщина морского льда, м	1,4200	0,9000
Площадь морского льда, км^2	$339 \cdot 10^6$	$123 \cdot 10^6$

Расчеты выполнялись из начального состояния практически до установления стационарного режима палеоклимата. На рис. 2 на современной глобальной карте показано рассчитанное распределение температуры атмосферы (°С) для января. Наблюдается существенное повышение температуры на всей территории Северной Азии и потепление в Скандинавии. Нулевая изотерма в январе проходит по побережью Северного Ледовитого океана. Наряду с этим значительное охлаждение воздуха наблюдается во всей Северной Америке, где нулевая изотерма опускается до 30° с. ш. Изолинии температуры имеют концентрическую структуру, группируясь вокруг нового Северного полюса. Заметные изменения произошли в Южном полушарии, где в январе лето. Значительная область Антарктиды прогрелась до температур выше 15 °С, что приводит к интенсивному таянию ледников.

Для сравнения на рис. 3 показано рассчитанное распределение температуры атмосферы (°С) для января при современном положении оси вращения и конфигурации материков — разница существенная (см. рис. 2).

Значительное потепление области Северного Ледовитого океана приведет к таянию морского льда в Арктике. На рис. 4 показано распределение площади морского льда (темные области) для января при указанном повороте оси вращения Земли. В летние месяцы значительная часть Северного Ледовитого океана свободна ото льда. Ледовый покров в ослабленном состоянии (толщина льда не превышает 1,5 м) по сравнению с современным присутствует только вблизи северного побережья Северной Америки. Вся акватория этого океана вдоль Европы и Азии свободна ото льда, что связано с перемещением Северного полюса в район материковой части Америки. В Южном

полушарии покрыта льдом и зимой, и летом только небольшая площадь на юге Индийского океана вблизи Антарктиды в районе локализации смещенного Южного полюса.

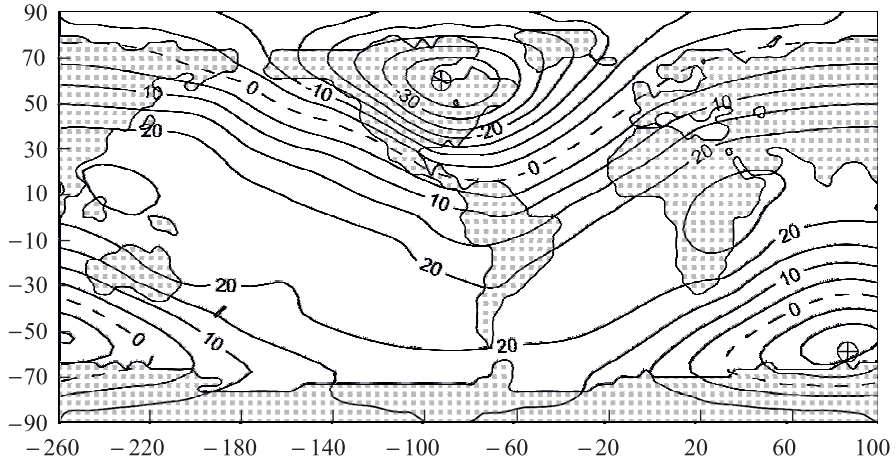


Рис. 2. Распределение температуры атмосферы (°C) для января при повороте оси вращения Земли

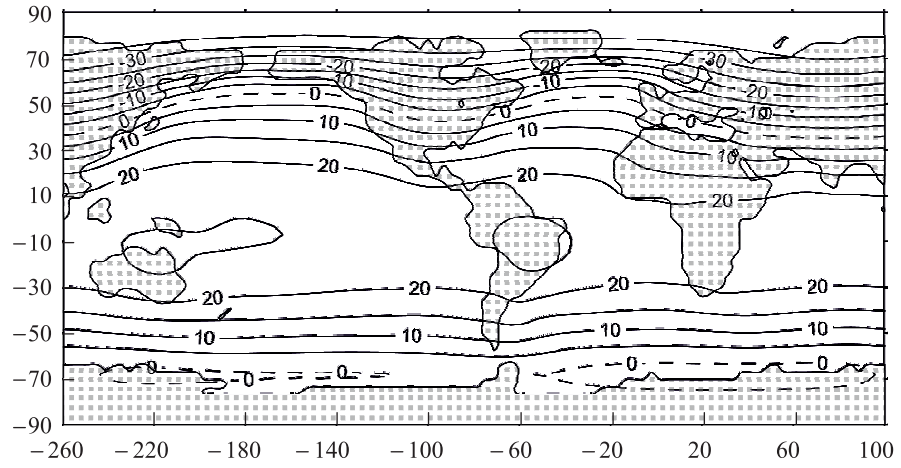


Рис. 3. Распределение температуры атмосферы (°C) для января при современном положении оси вращения Земли

Сильные изменения распределения температуры и ледового покрова также приводят к существенным изменениям горизонтальной циркуляции океана. Традиционные кольца циркуляции либо ослаблены (Тихий океан), либо отсутствуют (Атлантический океан). Существуют только две области мощной циркуляции в разных направлениях — на юге Тихого океана в районе нового Южного полюса.

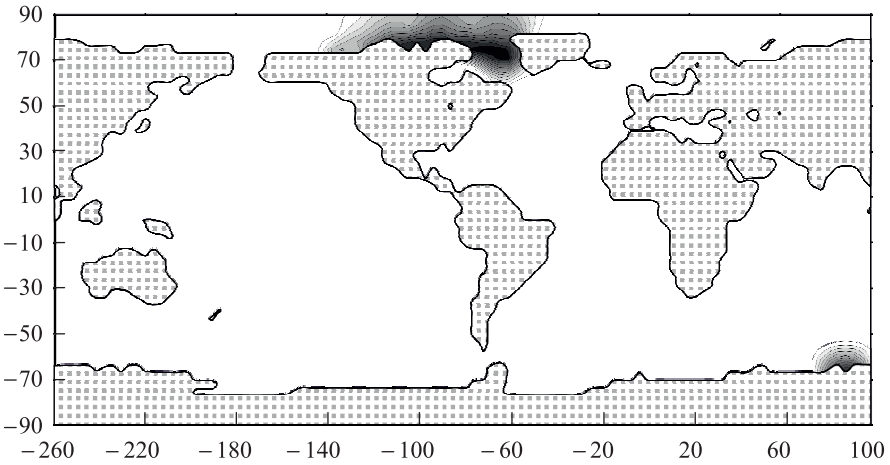


Рис. 4. Распределение площади морского льда (темные области) для января при повороте оси вращения Земли

Для проведения расчетов по процессу перехода от палеоклимата к современному требовалось обеспечить интерполяцию расчетных данных на конечно-разностную сетку, соответствующую современной конфигурации материков и положению оси вращения Земли. Было опробовано несколько способов интерполяции, и удовлетворительным оказался способ переноса в узлы сетки значений с ближайших точек повернутой сетки. При этом для точек океана учитывалась конфигурация материков. В качестве начальных данных для проведения расчетов были выбраны результаты расчета палеоклимата с повернутой осью.

На рис. 5, 6 приведены результаты счета на установление в течение приблизительно 550 лет для среднегодовых глобальных значений температуры атмосферы, толщины и площади морского льда, как самых характерных и важных характеристик формирующегося климата. Результаты показывают, что в первые 10 лет происходит резкая перестройка климатической системы, связанная в первую очередь с перераспределением солнечной радиации на поверхности Земли. Достаточно сильное падение средней температуры атмосферы в первые 25 лет связано с быстрым ростом площади и толщины морского льда в полярных регионах (см. рис. 6) и соответствующим увеличением альбедо поверхности. Пространственное распределение приземной температуры атмосферы (см. рис. 5) в основном соответствует современному уже через 50 лет после начала расчетов. В последующие годы начинает проявляться влияние состояния глубокого океана на климат, происходит постепенный переход к современным климатическим условиям. Расчеты на 1200 лет показывают слабые изменения состояния климатической системы по сравнению с результатами расчета на 550 лет. Все основные характеристики климатической системы в этот период соответствуют ее современному состоянию.

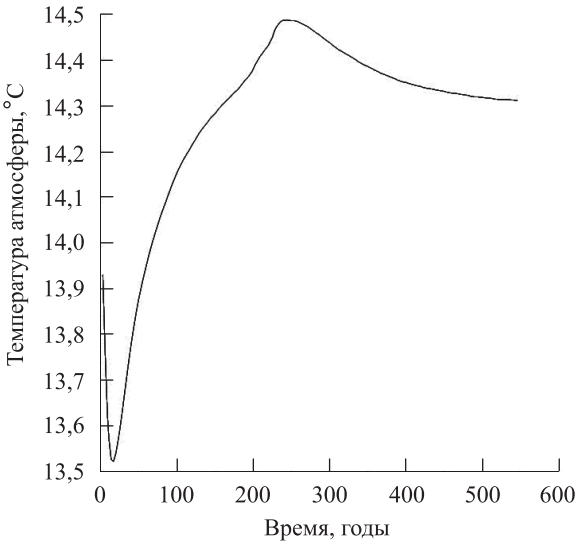


Рис. 5. Среднегодовая глобальная температура атмосферы

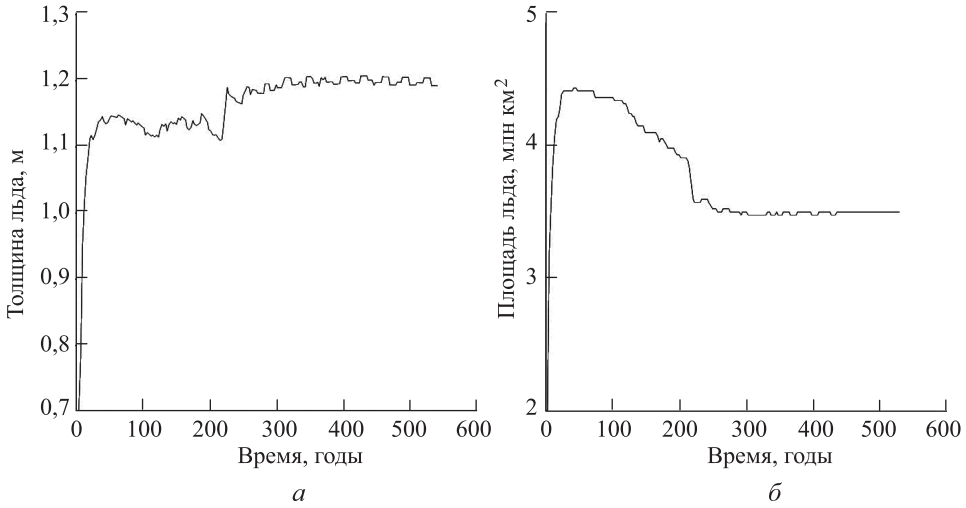


Рис. 6. Среднегодовые глобальные значения толщины (*а*) и площади (*б*) морского льда

Заключение. В настоящей работе приведены результаты численных экспериментов по определению климата Земли при смещении ее оси вращения без изменения наклона оси к плоскости эклиптики. Расчеты проведены с использованием гидродинамической трехмерной глобальной климатической модели, включающей блоки атмосферы, термохалинной крупномасштабной циркуляции океана, морского льда. Предложена процедура вычисления скорости ветра в энерговлагобалансовой модели атмосферы. Развита методика формирования необходимых карт и связей между ними при повороте оси вращения Земли

или использования новых картографических данных. Проведенные расчеты подтверждают предположения и свидетельства о теплом климате в Северо-Восточной Сибири 12–24 тыс. лет назад при изменении положения географического Северного полюса в это время. Проведены расчеты по моделированию процесса перехода от палеоклимата к современному в результате смещения оси вращения Земли в нынешнее положение. Приведем пример программной реализации процедуры преобразования карты материков и глубин океана при изменении положения оси вращения Земли относительно земной поверхности для случая отсутствия поворота вокруг новой оси $(\psi = 0)$. Предполагается, что угол оси относительно эклиптики не меняется.

Новое положение оси по отношению к исходному можно задать двумя углами: долготой λ_0 и широтным углом φ_0 вдоль меридиана, отсчитываемым от Северного полюса.

Связь между декартовыми координатами произвольной точки M на поверхности сферы (земного шара) в старой системе координат, соответствующей исходному положению оси, и новой системе координат (поворот оси) дается соотношением

$$\mathbf{P}\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \tag{1}$$

Здесь $\mathbf{P}$ — матрица перехода от старого базиса к новому

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} \cos\lambda_0 \cos\varphi_0 & -\sin\lambda_0 & \cos\lambda_0 \sin\varphi_0 \\ \sin\lambda_0 \cos\varphi_0 & \cos\lambda_0 & \sin\lambda_0 \cos\varphi_0 \\ \sin\varphi_0 & 0 & \cos\varphi_0 \end{pmatrix},$$

где x, y, z — координаты точки M в старом базисе, x', y', z' — в новом.

В модели координаты точки задаются в сферической системе координат $M(\lambda, \varphi, r)$, где λ — долгота, φ — широта, r — расстояние от центра до точки. Для применения формулы (1) необходимо выразить декартовы координаты через сферические (считаем расстояние от центра равным единице):

$$\begin{aligned} x &= \cos\lambda \sin\varphi, \\ y &= \sin\lambda \sin\varphi, \\ z &= \cos\varphi. \end{aligned} \tag{2}$$

В модели используется равномерная по долготе с шагом $\Delta\lambda$ и по синусу широты с шагом Δs конечно-разностная сетка. Для переноса

конфигурации материков, поля направлений поверхностных стоков воды и поля глубин океана с исходной сетки на новую, используем следующую процедуру.

Пусть (λ_i, φ_j) — координаты центра ячейки расчетной сетки с номерами (i, j). С каждой парой (λ_i, φ_j) связано число, определяющее либо глубину океана (от 1 до 8), либо направление поверхностного стока воды (от 91 до 94), что позволяет также идентифицировать точки суши.

Рассмотрим новую сетку, для которой неизвестно, суша или океан в данной ячейке. Для определения соответствующего параметра сначала по значениям (λ_i, φ_j) с использованием формул (2) переходим к декартовым координатам (x, y, z). Затем по формуле (1) находим соответствующие координаты (x', y', z') в старой системе координат. Далее по формулам, обратным к (2), переходим к сферическим координатам (λ'_i, φ'_j) в старой системе. По этим координатам можно вычислить индексы (i', j'), определяющие ячейку сетки в старой системе координат, и число, отвечающее за свойства данной ячейки (глубину океана или тип суши). Это число переносим в свойства ячейки (i, j) в новой системе. Массивы чисел $i'(i, j)$ и $j'(i, j)$ запоминаем. Они будут нужны при переносе расчетных климатических характеристик с новой сетки на старую для анализа и сравнения. Отметим, что определение этих величин неточное в силу округления до целого. Точно соответствуют координатам (λ_i, φ_j) значения (λ'_i, φ'_j) в старой системе, поэтому используем другой подход. Составляем и запоминаем массивы $\lambda'(i, j)$ и $\varphi'(i, j)$, определяющие координаты в старой системе, соответствующие точкам сетки в новой:

$$\varphi'(i, j) = \pi / 2 - \arccos\left[z(i, j)\right],$$

$$\lambda'(i, j) = \pm \arccos\left(\frac{x(i, j)}{\cos \varphi_j}\right).$$

Здесь знак «+» выбирается при $y(i, j) > 0$ и знак «–» — при $y(i, j) \le 0$.

Предложенный подход позволяет осуществить эффективную интерполяцию данных на разных расчетных сетках и сделать точное представление результатов расчетов, не зависящее от имеющихся погрешностей интерполяции.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-01-0466, № 17-01-00693).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Raymond S.B. *Paleoclimatology. Reconstructing climates of the quaternary.* Elsevier Academic Press, 2014, 614 p.

[2] Деревягин А.Ю., Чижов А.Б., Майер Х. Температурные условия зим Лаптевоморского региона за последние 50 тысяч лет в изотопной записи повторно-жильных льдов. *Криосфера Земли*, 2010, т. 14, № 1, с. 32–40.

[3] Dunphy G. *Six Ages of the World. In Graeme Dunphy. Encyclopedia of the Medieval Chronicle*. Leiden, Brill, 2010, pp. 1367–1370.

[4] Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. *Развитие Земли*. Москва, Изд-во МГУ, 2002, 506 с.

[5] Колтыпин А.В. Последние дни Великой Северной цивилизации — потомков белых богов. Что произошло на Северо-Востоке Азии, Аляске и шельфе Северного Ледовитого океана 12 тысяч лет назад? (реконструкция на стыке геологии и истории). *Земля до потопа. Исчезнувшие континенты и цивилизации*.
URL: http://www.dopotopa.com/chto_sluchilos_na_severo_vostoke_azii_12000_let_na.html (дата обращения 30.11.2017).

[6] Колтыпин А.В. Смещение полюсов — проскальзование литосферы или измерение наклона земной оси? *Земля до потопа. Исчезнувшие континенты и цивилизации*.
URL: http://www.dopotopa.com/smeschenie_poljusov_-_proskalzyvanie_litosfery_ili.html (дата обращения 30.11.2017).

[7] Кочергин В.П. *Теория и методы расчета океанических течений*. Москва, Наука, 1978, 128 с.

[8] Muller S.A., Joos F., Edwards N.R., Stocker T.F. Water mass distribution and ventilation time scales in a cost-efficient, 3-dimensional ocean model. *Journal of Climate*, 2006, vol. 19, pp. 5479–5499.

[9] Пархоменко В.П. Модель климата с учетом глубинной циркуляции Мирового океана. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2011. Сер. Естественные науки. Спец. выпуск «Математическое моделирование», с. 186–200.

[10] Пархоменко В.П. Глобальная модель климата с описанием термохалинной циркуляции Мирового океана. *Математическое моделирование и численные методы*, 2015, № 5, с. 94–108.

[11] Пархоменко В.П. Применение квазислучайного подхода и ансамблевых вычислений для определения оптимальных наборов значений параметров климатической модели. *Информатика и ее применения*, 2017, т. 11, вып. 2, с. 65–74.

[12] Dimitrienko Yu.I., Koryakov M.N., Zakharov A.A. Computational modeling of conjugated aerodynamic and thermomechanical processes in composite structures of high-speed aircraft. *Applied Mathematical Sciences*, 2015, vol. 9, no. 98, pp. 4873–4880. URL: http://dx.doi.org/10.12988/ams.2015.55405 (дата обращения 30.11.2017).

[13] Димитриенко Ю.И., Коряков М.Н., Захаров А.А. Применение метода RKDG для численного решения трехмерных уравнений газовой динамики на неструктурированных сетках. *Математическое моделирование и численные методы*, 2015, № 8, с. 75–91.

[14] Dimitrienko Yu.I., Koryakov M.N., Zakharov A.A. Application of finite difference TVD methods in hypersonic aerodynamics. Finite difference methods, theory and applications. *Lecture Notes in Computer Science*, 2015, vol. 9045, pp. 161–168. DOI 10.1007/978-3-319-20239-6_15

[15] Димитриенко Ю.И., Захаров А.А., Коряков М.Н., Сыздыков Е.К. Моделирование сопряженных процессов аэрогазодинамики и теплообмена на поверхности теплозащиты перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2014, № 3, с. 23–34.

Статья поступила в редакцию 15.04.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Пархоменко В.П. Моделирование процесса перехода от палеоклимата к современному в результате сильного изменения условий. *Математическое моделирование и численные методы*, 2017, № 3, с. 105–118.

Пархоменко Валерий Павлович окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Канд. физ.-мат. наук, заведующий сектором моделирования климатических и биосферных процессов Вычислительного центра РАН ФИЦ ИУ РАН, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана. Имеет более 120 научных публикаций. Научные исследования посвящены нестационарной газовой динамике, численным методам динамики сплошных сред, проблемам математического моделирования климата.
e-mail: vparhom@ya.ru

Modeling the process of transition from paleoclimate to the current one as a result of a strong change in conditions

© V.P. Parkhomenko

Dorodnicyn Computing Centre, Russian Academy of Sciences,
Moscow, 119333, Russia
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The paper gives the results of numerical calculations on the description of the Earth's climate with the displacement of its axis of rotation, the possibility of which is proven by some geological, archaeological and historical data. The study assumes that the axis inclination angle to the ecliptic plane is maintained. We carried out some calculations on modeling the process of transition from paleoclimate to the current one as a result of displacement of the Earth's rotation axis into the present position. The calculations are based on the hydrodynamic three-dimensional global climate model. As a result, we introduced an approach to calculating the wind speed in the energy-and-water balance atmospheric model. Finally, we developed a method for forming and using the necessary maps and connections between them at the rotation of the Earth's axis.

Keywords: *global climatic model, paleoclimate, numerical experiments*

REFERENCES

[1] Raymond S.B. *Paleoclimatology. Reconstructing climates of the quaternary.* Elsevier Academic Press, 2014, 614 p.

[2] Derevyigin A.Yu., Chizhov A.B., Meyer H. *Kriosfera Zemli — Earth's Cryosphere*, 2010, vol. 14, no. 1, pp. 32–40.

[3] Dunphy G. *Six Ages of the World. In Graeme Dunphy. Encyclopedia of the Medieval Chronicle*. Leiden, Brill, 2010, pp. 1367–1370.

[4] Sorokhtin O.G., Ushakov S.A. *Razvitie Zemli* [The Earth' development]. Moscow, Lomonosov MSU Publ., 2002, 506 p.

[5] Koltypin A.V. Poslednie dni Velikoy Severnoy tsivilizatsii — potomkov belykh bogov. Chto proizoshlo na Severo-Vostoke Azii, Alyaske i shelfe Severnogo Ledovitogo okeana 12 tysyach let nazad? (rekonstruktsiya na styke geologii i istorii) [The last days of the Great Northern civilization, the descendants of the white gods. What happened in Northeast Asia, Alaska and the shelf of the Arctic Ocean 12 thousand years ago? (reconstruction at the intersection of geology and history)]. *Zemlya do potopa. Ischeznuvshie kontinenty i tsivilizatsii* [The Earth before the flood. Disappeared continents and civilizations]. Available at: http://www.dopotopa.com/chto_sluchilos_na_severo_vostoke_azii_12000_let_na.html (accessed November 30, 2017).

[6] Koltypin A.V. Smeshchenie polyusov — proskalzovanie litosfery ili izmerenie naklona zemnoy osi? [Poles shift — skimming of the lithosphere or measuring the axial inclination?]. *Zemlya do potopa. Ischeznuvshie kontinenty i tsivilizatsii* [The Earth before the flood. Disappeared continents and civilizations]. Available at: http://www.dopotopa.com/smeschenie_poljusov__proskalzyvanie_litosfery_ili.html (accessed November 30, 2017).

[7] Kochergin V.P. *Teoriya i metody rascheta okeanicheskikh techeniy* [Theory and methods of calculating ocean currents]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 128 p.

[8] Muller S.A., Joos F., Edwards N.R., Stocker T.F. *Journal of Climate*, 2006, vol. 19, pp. 5479–5499.

[9] Parkhomenko V.P. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana, 2011. Ser. Estestvennye nauki. Spets. vypusk "Matematicheskoe modelirovanie" — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Sciences. Spec. no. "Mathematical modeling"*, 2011, pp. 186–200.

[10] Parkhomenko V.P. *Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody — Mathematical Modeling and Computational Methods*, 2015, no. 5, pp. 94–108.

[11] Parkhomenko V.P. *Informatika i ee primeneniya — Informatics and Applications*, 2017, vol. 11, no. 2, pp. 65–74.

[12] Dimitrienko Yu.I., Koryakov M.N., Zakharov A.A. *Applied Mathematical Sciences*, 2015, vol. 9, no. 98, pp. 4873–4880.
Available at: http://dx.doi.org/10.12988/ams.2015.55405 (accessed November 30, 2017).

[13] Dimitrienko Yu.I., Koryakov M.N., Zakharov A.A. *Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody — Mathematical Modeling and Computational Methods*, 2015, no. 8, pp. 75–91.

[14] Dimitrienko Yu.I., Koryakov M.N., Zakharov A.A. *Lecture Notes in Computer Science*, 2015, vol. 9045, pp. 161–168. DOI 10.1007/978-3-319-20239-6_15

[15] Dimitrienko Yu.I., Zakharov A.A., Koryakov M.N., Syzdykov E.K. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2014, no. 3, pp. 23–34.

Parkhomenko V.P. graduated from Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University. Cand. Sc. (Phys.-Math.), Head of Climate and Biosphere Processes Modeling Sector, Dorodnicyn Computing Centre, Russian Academy of Sciences, Federal Research Center Informatics and Control, RAS, Assoc. Professor, Bauman Moscow State Technical University. Author of over 120 scientific publications. Scientific research is devoted to non-stationary gas dynamics, numerical methods of continuum dynamics, problems of mathematical climate modeling. e-mail: vparhom@ya.ru