

ЭНЕРГОБАЛАНСОВАЯ МОДЕЛЬ КЛИМАТА С УЧЕТОМ СЕЗОННОГО ХОДА ИНСОЛЯЦИИ

Пархоменко В.П.,

к.ф.-м.н.,

ФИЦ ИУ РАН,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Москва, Россия

Каменских Г.М.,

студент,

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Москва, Россия

Аннотация

Построена математическая модель, основанная на уравнении энергетического баланса с применением зонального осреднения параметров по широте и учитывающая наличие обратной альbedo-температурной связи.

С применением данной модели были изучены зависимости, возникающие в рассматриваемой модели, в частности, проведены численные эксперименты по изучению теоретически возможных изменений температурного режима Земли при изменении величины инсоляции, обусловленных наличием обратной положительной альbedo-температурной связи. Подтвержден классический результат, что в этой постановке при уменьшении солнечной постоянной на 4% происходит лавинообразное смещение снеговой линии до экватора, и Земля полностью покрывается снегом и льдом (режим оледенения).

Ключевые слова: нестационарная энергобалансовая модель климата, численные эксперименты

***ENERGY BALANCE CLIMATE MODEL TAKING INTO ACCOUNT THE
SEASONAL CYCLE OF INSOLATION***

Parkhomenko V.P.,

PhD,

FRC CSC RAS,

Bauman Moscow State Technical University,

Moscow, Russia

Kamenskikh G.M.,

student,

Bauman Moscow State Technical University,

Moscow, Russia

Abstract

A mathematical model based on the energy balance equation with the use of zonal averaging of latitude parameters and taking into account the presence of an albedo-temperature feedback relationship is constructed.

Using this model, the dependences arising in the model under consideration were studied, in particular, numerical experiments were carried out to study theoretically possible changes in the temperature regime of the Earth with a change in the amount of insolation caused by the presence of an positive albedo-temperature feedback. The classical result is confirmed that in this formulation, when the solar constant decreases by 4%, an fast shift of the snow line to the equator occurs, and the Earth is completely covered with snow and ice (glaciation mode).

Keywords: unsteady energy balance climate model, numerical experiments

При анализе долгосрочных изменений погоды и климата рассматривают всю атмосферу, океан с морским льдом и деятельный слой суши как

взаимодействующие части единой климатической системы [2, 6]. Мощным инструментом для исследования климатической системы и прогнозирования ее изменений является математическое моделирование [5, 8]. Значительные затруднения при построении моделей климата Земли вызывает исключительная сложность земной климатической системы [8, 11].

Имеется ряд моделей климата, от простейших точечных, предельно осреднённых, до сложнейших трехмерных, с развитыми блоками радиации, океана и атмосферы [3, 7, 9]. Климатические модели промежуточной сложности были развиты за последние несколько лет, и продемонстрировали, что они способны правильно моделировать важные аспекты климатической системы [13, 14]. Эти упрощенные модели или малопараметрические модели имеют только небольшое число динамических уравнений климатической системы. Особое место в данной иерархии занимают модели, в которых параметризованы все гидродинамические процессы в атмосфере и океане — энергобалансовые модели [14]. Для задачи описания климата движения в атмосфере и океане важны в первую очередь не сами по себе, а как причина перераспределения энергии, полученной планетой от Солнца. В связи с этим существует возможность применять иной подход к построению климатических моделей. Вместо того, чтобы рассчитывать детерминированные состояния атмосферы и океана, достаточно найти физическую схему осредненных параметров гидродинамических полей — провести "параметризацию" физических процессов. [2].

Быстрое развитие энергобалансовых моделей климата (ЭБМК) началось с фундаментальной работы М.И.Будыко [1], где впервые была принята во внимание сильная альbedo-температурная связь, ответственная за высокую чувствительность земного климата к изменениям притока солнечного тепла. Там же были предложены оригинальные параметризации мощности уходящего теплового излучения и меридионального потока тепла, которые оказались очень удачными и широко используются до сих пор.

Наиболее простой и эффективной является альbedo-температурная обратная связь [4]. При уменьшении температуры вблизи поверхности возрастает площадь Земли, покрытая снегом или льдом, поэтому увеличивается отраженная в космос коротко волновая радиация (увеличивается альbedo земной поверхности и климатической системы в целом) и температура еще более уменьшается [10, 12, 15].

С учетом зонального осреднения и в предположении, что теплоёмкость атмосферы мала по сравнению с теплоёмкостью деятельного слоя подстилающей поверхности, уравнение энергетического баланса климатической системы в сферической системе координат имеет параболический тип и решается в сферической системе координат.

Предлагаемый метод решения имеет преимущества по сравнению с обычно использовавшимся и описанном в литературе [1, 14] – он совершенно не зависит от выбора коэффициентов поглощения климатической системы, характера зависимости длинноволнового излучения от температуры и других факторов и допускает произвольную нелинейную зависимость коэффициента диффузии от широты и температуры.

Результаты расчетов выхода на установившейся режим в нестационарном случае, с использованием данных о современном распределении солнечной радиации, учитывающих ее сезонный ход представлены на рис. 1. Расчеты ведутся с нулевых начальных условий для температуры и отсутствия снега и льда в обоих полушариях.

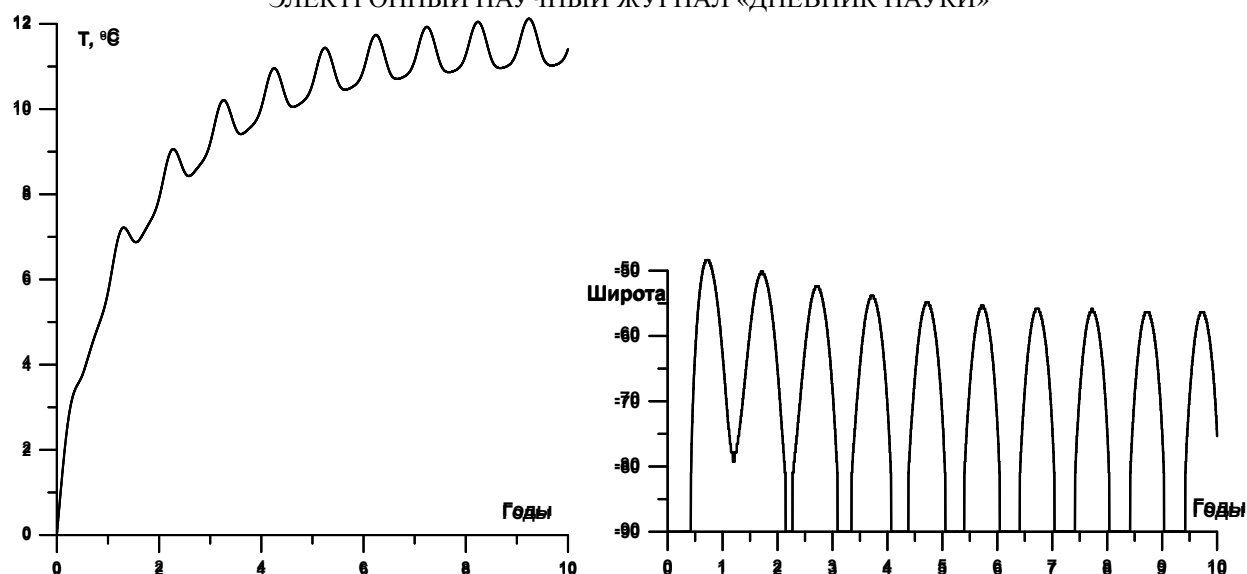


Рис. 1 – Выход на установившийся сезонный режим климата. Средне глобальная приземная температура атмосферы (слева) и положение снеговой линии в южном полушарии (справа) (получено авторами)

Присутствуют сезонные колебания средне глобальной температуры и положения снеговой линии. Средняя глобальная температура в режиме сезонного хода солнечной радиации также выходит на стационарный режим примерно за 10 лет. В летний период снежный покров полностью тает в обоих полушариях. В зимний период положение снеговых линий доходит до 50° широты.

Численные эксперименты показывают, что увеличение концентрации углекислого газа в 2 раза приводит к увеличению средней глобальной температуры примерно на 2°C, а увеличение концентрации в 3 раза — на 3°C. Снижение концентрации в 2 раза приводит к снижению средней глобальной температуры также примерно на 2°C.

Далее было исследовано влияние на модельный климат периодического изменения солнечной постоянной: сначала монотонное уменьшение до 90 % от начального и затем - увеличение до 140 % и возврат к начальному (рис. 2). Расчеты ведутся с начальных условий, соответствующих установившемуся климату. Всего расчеты проведены на период около 100 лет, на рис. 2 некоторые неинформативные промежутки времени опущены.

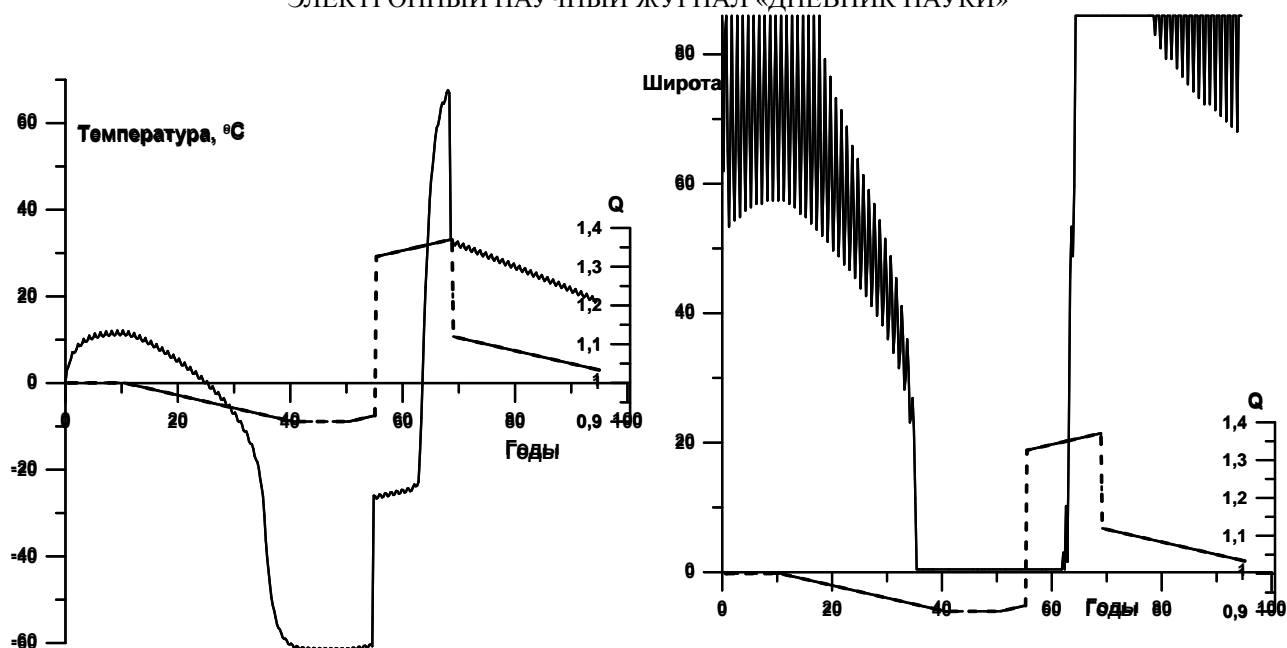


Рис. 2 - Изменение средней глобальной приземной температуры атмосферы (слева) и положения снеговой линии (справа) при вариациях солнечной инсоляции (пунктирная линия) (получено авторами)

Такое циклическое изменение солнечной инсоляции приводит к возникновению эффекта гистерезиса при рассмотрении положения снеговых линий в северном и южном полушариях (рис. 3), а также для средней глобальной температуры атмосферы.

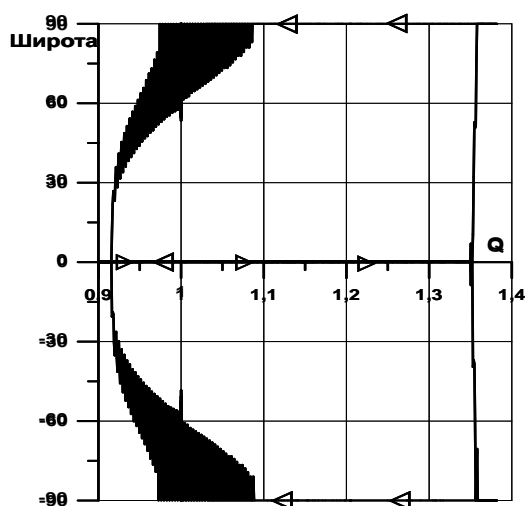


Рис. 3 Положение снеговых линий при циклическом изменении солнечной инсоляции (получено авторами)

При проведении численных экспериментов по вариации значения инсоляции на построенной энергобалансовой модели обнаружена

положительная альbedo-температурная обратная связь. При понижении инсоляции наблюдается уменьшение температуры приземного слоя, снеговые линии начинают приближаться к экватору и увеличивается отражающая способность земной поверхности. Вследствие этого температура падает еще значительнее и при дальнейшем понижении инсоляции данная обратная связь приводит к полному оледенению всей поверхности Земли.

Заключение

Построена математическая модель, основанная на уравнении энергетического баланса с применением зонального осреднения параметров по широте и учитывающая наличие обратной альbedo-температурной связи. Предлагаемый конечно – разностный метод решения полученных уравнений, имеет преимущество в том, что он не зависит от выбора коэффициентов поглощения климатической системы, характера зависимости длинноволнового излучения от температуры и других факторов и допускает произвольную нелинейную зависимость коэффициента диффузии от широты и температуры.

С применением данной модели были изучены зависимости, возникающие в рассматриваемой модели, в частности, проведены численные эксперименты по изучению теоретически возможных изменений температурного режима Земли при изменении величины инсоляции, обусловленных наличием обратной положительной альбедно-температурной связи.

Библиографический список

1. Будыко М. И. О происхождении ледниковых эпох / М. И. Будыко // Метеорология и гидрология. – 1968. - №11. - С. 3-12.
2. Монин А.С. Введение в теорию климата / А.С. Монин - Л.: Гидрометеиздат, 1982. - 296 с.
3. Мошонкин С.Н., Залесный В.Б., Гусев А.В., Бышев В.И. Циркуляционные механизмы стабилизации региональной динамики деятельного слоя океана / С.Н. Мошонкин // Океанологические исследования. – 2019 - Т. 47 - № 2 - С.198-219.

4. Пархоменко В. П. Анализ чувствительности арктического морского ледового покрова в глобальной климатической модели / В. П. Пархоменко // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. - 2014. № 3, С. 372-387.
5. Пархоменко В.П. Организация численных экспериментов на модели общей циркуляции атмосферы и глобальной модели океана / В. П. Пархоменко // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2021. – **61** - № 10 - С. 1693–1703.
6. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика / Дж. Педлоски - М.: Мир, 1984. – том 1 - 398 с.
7. Толстых М.А. Глобальные модели атмосферы: современное состояние и перспективы развития / М.А. Толстых // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. - 2016. – **70** - С. 5-32.
8. Толстых М.А., Ибраев Р.А. и др. Модели глобальной атмосферы и мирового океана: алгоритмы и суперкомпьютерные технологии / М.А. Толстых, Р.А. Ибраев - М: Изд-во МГУ, 2013 - 144 с.
9. Adem J. On the theory of the general circulation of the atmosphere / J. Adem // Tellus – 1962 - v. 14 - P. 102-115.
10. Blaschek M., Renssen H., Kissel C., Thornalley D. Holocene North Atlantic Overturning in an atmosphere-ocean-sea ice model compared to proxy-based reconstructions / M. Blaschek, H. Renssen, C. Kissel, D. Thornalley // Paleoceanography – 2015 - v. 30 - №11 - P.1503-1524.
11. Climate Change 2014: Synthesis Report // IPCC - Geneva, Switzerland - 151 p.
12. Melia N., Hawkins E., Haines K. Improved Arctic sea ice thickness projections using bias-corrected CMIP5 simulations / N. Melia, E. Hawkins, K. Haines // The Cryosphere – 2015 - v. 9 - № 6 - P. 2237-2251.

13. Parkhomenko V.P. Numerical 3-d model experiments on global climate sensitivity to solar constant variations / V.P. Parkhomenko // J. Phys.: Conf. Ser – 2019 – V. 1391 012082.
14. Stocker T. F. The Role of Simple Models in Understanding Climate Change / T. F. Stocker // Continuum Mechanics and Applications in Geophysics and the Environment / B. Straughan, R. Greve, H. Ehrentraut, Y. Wang (eds.) - Springer Verlag, - 2001 – 367 p.
15. Zhang Y., Maslowski W., Semtner A.J. Impact of mesoscale ocean currents on sea ice in high-resolution Arctic ice and ocean simulations / Y. Zhang, W. Maslowski, A.J. Semtner // Journal of Geophys Research Atm – 1999 - vol. 1041 - № C8 - P.18409-18430.

Оригинальность 87%