

ISSN 0367-1631

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. И. МЕЧНИКОВА

Физика аэродисперсных систем

ВЫПУСК 39

МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ СБОРНИК

Основан в 1969 г.

Одесса
“Астропринт”
2002

А. В. Глушков, В. Н. Хохлов

Одесский государственный экологический университет

Атмосферный влаго-тепло-перенос, телеконнекция и баланс энергии, углового момента

Впервые выявлена комплексная связь баланса основных характеристик (энергии, углового момента) системы “атмосфера-океан” с процессами тепло-массо-влаго-переноса, детально проанализирована особая роль атмосферного влагооборота в создании различных форм циркуляции атмосферы. Предложен новый метод применения балансовых соотношений по энергии, угловому моменту и влаго-переносу в качестве комплексного критерия для опознавания и выявления эволюционных трендов образующихся форм циркуляции атмосферы.

В настоящее время актуальна необходимость разработки новых, адекватных методов наблюдений за низкочастотными колебаниями неравновесных термодинамических процессов в геосферах [1-16]. Данные метеорологических наблюдений дают информацию о состоянии процесса на дискретный момент, но не дают его частотную развертку. Она может быть получена лишь после математического анализа процесса, что зачастую не совсем адекватно реальности. Важно иметь возможность наблюдать именно тот элемент, который сам вписывается в долгопериодный атмосферный процесс, определяя его физическую сущность, а не ее частичное отражение в быстро осциллирующих короткопериодных процессах. Сложность здесь обусловлена нелинейной связью низкочастотных процессов и общего высокочастотного фона короткопериодных погодообразующих колебаний [1-7]. Поэтому отделение спектральных интервалов в низкочастотном и высокочастотном диапазонах с минимальной переходной зоной энергетического взаимодействия особо актуальная задача современной физики атмосферы и климата [1-5,13-16]. Обычно высокочастотные процессы формируются на фоне долгопериодных колебаний долгосрочного и климатического фона. Эти высокочастотные процессы энергоемки и скрывают фон даже более энергонасыщенных процессов, на котором они происходят. Энергоемкость низкочастотных процессов велика, но ее реализация в природе замедленна. Поэтому высокочастотный фон быстрых энергопереходов маскирует медленно текущие долгопериодные процессы, скрывая их поистине гигантские энергозатраты, реализуемые, однако, за более длительное время. Отсюда ясна необходимость построения начальной базы для моделирования именно низкочастотных колебаний с минимальной энерготдачей в высокочастотные спектральные диапазоны. На основе низкочастотных процессов в атмосфере офор-

мляются репеллеры супердолгопериодных колебаний, создающих основу для климатических изменений и, тем самым, так называемые геофизические предикторы для сверхдолгосрочных прогнозов (см. [10]).

Полезный метод анализа и изучения эволюции и динамики атмосферной системы заключается в анализе глобальных циклов углового момента, влаги, энергии и соответствующих процессов тепло-массопереноса (см.[4-12]). Благодаря анализу различных составляющих баланса для этих основных характеристик можно ясно представить взаимосвязь между климатическими подсистемами. В нашей работе мы сконцентрируем внимание на изучении баланса энергии, углового момента и влагооборота. На основе того, что любые очаги планетарного масштаба скопления воды в атмосфере, находящейся в трех фазовых состояниях (пар, вода, лед), формируются на основе механики цикло- и фронтогенеза или в линиях конвективной неустойчивости, которые составляют основу процесса перестроек главным образом в тропических широтах и в антициклонических образованиях, можно ввести некую физико-математическую модель на основе термодинамики и гидромеханики процессов, формирующих эти скопления. К примеру, физика образования антициклонных образований может совпадать с механикой солитона, имеющего долгопериодную основу энергетической подпитки. Нелинейное волновое образование атмосферного фронта основано на долговременном существовании и на самостоятельном динамизме фронтально-го раздела полярного фронта умеренных широт, опоясывающего земной шар [10,11]. Аналогичные разделы арктического и тропического фронтов имеют несколько менее устойчивую структуру, т.к. находятся в зоне активного антициклогенеза арктического антициклона и субтропического пояса высоко-го давления, в которых активны солитоны Россби [6,10,11]. Поэтому солитон полярного фронта представляет собой характерный планетарный ансамбль низкочастотного волнового и вихревого процесса. Эффект телеконнекции изложен в статье Филандера С. и Расмуссена Е. [7]. В работах Оорта А. и др. [4,5,8], а также в [10-12] основное внимание уделено балансу углового момента в планетарных динамических перемещениях воздушных масс. В частности [5], наблюдаемый баланс углового момента рассчитывается по прямым измерениям ветра в атмосфере и усредняется за год. Угловой момент передается от поверхности Земли (главным образом над океанами) в тропиках и переносится вверх в ячейки Гадлея, затем движется в верхних слоях атмосферы к полюсу и отдается обратно Земле в средних широтах. На основе данных радиозондовых измерений Оорт А. проводит оценку зонального распределения потока относительного углового момента в атмосфере.

В настоящей работе впервые выявлена комплексная связь баланса основных интегралов движения (энергии, углового момента) системы "атмосфера-океан" с процессами тепло-массо-влаги-переноса, детально проанализирована особая роль атмосферного влагооборота в создании форм циркуляции атмосферы. В работе предложен новый метод применения балансо-

вых соотношений по энергии, угловому моменту и влаги переносу в качестве комплексного критерия для опознавания и выявления эволюционных трендов для форм циркуляции атмосферы.

Баланс энергии и углового момента в атмосфере задается известными интегральными уравнениями (см. [8,11]). В частности, для расчета баланса углового момента атмосферы используется интегральное уравнение вида:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \int \rho M dV = & \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^H \int_0^{2\pi} \rho v M d\lambda dz d\varphi + \\ & + \int_0^H \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^{2\pi} (p_E^i - p_W^i) \cos \lambda dz d\lambda d\varphi + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^H \int_0^{2\pi} \tau_0 a \cos \lambda d\lambda dz \end{aligned} \quad (1)$$

где $M = \Omega a^2 \cos^2 \lambda + u a \cos \lambda$ — угловой момент; Ω — угловая скорость вращения Земли; a — радиус Земли; λ — широта (λ_1, λ_2 — определяют широтный пояс между арктическим и полярным фронтами); u — зональная компонента скорости ветра; ρ — плотность воздуха; V — весь объем атмосферы в указанном широтном поясе; v — меридиональная компонента скорости ветра; φ — долгота; $p_E^i - p_W^i$ — разность давлений на восточных и западных склонах i -ой горы; z — высота над уровнем моря; τ_0 — напряжение трения на поверхности. Искомое уравнение является интегральным уравнением относительно углового момента M с ядром ρV (в стационарном варианте левая часть уравнения равна нулю). Функция меридиональной компоненты v непосредственно зависит от вида функции ρ . Функция же u непосредственно введена в неизвестное интегрального уравнения (1). Одновременно u и v связаны с ρ , т.к. поле плотности формирует обе компоненты вектора скорости. Левая часть уравнения (1) не включает в себя компоненту v , что означает задание априори замкнутого цикла углового момента по меридиану. Согласно Оорту А. [3], тем самым вводится цикл углового момента в виде усложненной ячейки Гадлея умеренных широт, в которой замыкание циркуляции Гадлея по величине углового момента происходит не в атмосфере, а переходит в океан и далее в литосферу, и в южном направлении циркуляция в ячейке Гадлея по угловому моменту происходит через литосферу вплоть до начала цикла подъема воздушных масс в субтропических широтах.

С точки зрения физики, цикл баланса углового момента в зонах соприкосновения с гидросферой и с литосферой приобретает сингулярность. Эта сингулярность может быть выявлена через возникновение зон фронтальных разделов и волновых образованиях типа фронтальных. Тогда ядро уравнения (1) может быть задано в поле плотности функциональным ансамблем комплексного потенциала скорости:

$$w = \overline{v_\infty} z + \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^n q_k \ln(z - a_k) - \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^p \frac{M_k e^{\alpha_k i}}{z - c_k} - \frac{i}{2\pi} \sum_{k=1}^m \Gamma_k \ln(z - b_k) \quad (2)$$

и комплексная скорость, соответственно, будет:

$$v = \frac{dw}{dz} = \overline{v_\infty} + \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{z - a_k} - \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^p \frac{M_k e^{\alpha_k i}}{(z - c_k)^2} - \frac{i}{2\pi} \sum_{k=1}^m \Gamma_k \ln(z - b_k) \quad (3)$$

где w — комплексный потенциал; v_∞ — комплексная скорость общего циркуляционного фона (в основном зональная циркуляция); b_k — координаты вихресточников в зоне сингулярности; c_k — координаты диполей в зоне сингулярности; a_k — координаты вихревых точек в зонах сингулярности; M_k — величины моментов указанных диполей; α_k — ориентация осей диполей; Γ_k , q_k — величины циркуляций в вихресточниках и в вихревых точках соответственно. В результате ядро интегрального уравнения (3) становится сингулярным типа Коши и Гильберта. Связь поля плотности с полем комплексного потенциала или с полем комплексной скорости тривиальна посредством, например, простейших уравнений теории “мелкой воды” либо в рамках более последовательных моделей. Разрывы в полях метеорологических величин, которыми сопровождается феномен атмосферного фронта, формируют сингулярные особенности указанных полей. Аналогичные уравнения, а также методика решения используются для описания баланса энергии и оборота влаги. Для установления связи между балансом энергии, углового момента, переносом влаги был реализован комплекс численных программ (блок-схема приведен в таблице 1). Главное отличие от работы [13] состоит в добавлении в схему блока баланса по энергии и более корректном решении уравнений макротурбулентности. Более полное описание блоков и описание моделей см. в [13-15]). Реализация всех моделей объединяется в единый комплекс, позволяющий одновременно отслеживать динамику изменения и пути возможной эволюции, проявления и направления атмосферного влагооборота, выполнения баланса и появления разбаланса углового момента атмосферы и связанного с этим переноса влаги, массы, энергии, углового момента, изменения форм атмосферной циркуляции, их преемственности, а также динамики фронтогенеза и процесса телеконнекции.

Как пример, приведем данные проведенного имитационного (тестового) компьютерного эксперимента (летнее время; форма циркуляции M_1 по Вангенгейму-Гирсу (см.[2,12]). На рис.1 приведен результат расчёта аномалий функции тока (направления вектора скорости соответствует тому, чтобы положительные значения были слева от потока.

Анализ рис.1 позволяет заключить, что передача углового момента вместе с горизонтальным влагопереносом идёт с востока на запад, что соответствует расчётным схемам Оорта [3], причём основной поток на запад приходится на широты Алеутских островов, что тоже соответствует результатам Оорта.

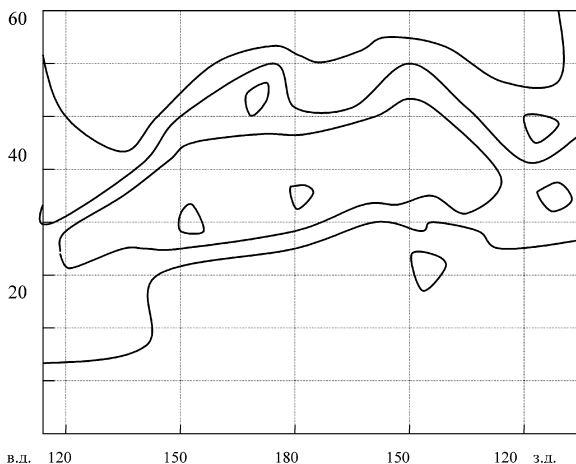


Рис. 1. Функции тока в летнее время при форме циркуляции M_1 (см. текст).

Следует также отметить, что подвижные и стационарные антициклоны резко отличаются по своим энергетическим характеристикам [4], а это, в свою очередь, оказывает влияние на перенос и трансформацию разных видов энергии в тропосфере. Поэтому интересно рассмотреть запасы средней кинетической (K_m), вихревой кинетической (K_e) и доступной потенциальной (P_e) энергий для того же района и времени года (рис.2). Здесь следует иметь в виду, что цикл энергии направлен от доступной потенциальной в среднезональную кинетическую энергию через вихревую кинетическую [5]. Можно отметить три максимума: P_e в районе 30° (восходящая ветвь ячейки Гадлея), K_e около 37° и K_m на 45° с.ш., что говорит о постепенной передаче энергии из тропиков во внетропические широты посредством телеконнекции.

В заключение отметим, что изложенный выше балансовый подход и соответствующие компьютерные эксперименты позволили количественно определить следующую логическую схему атмосферных процессов. Во-первых, связь атмосферного влагооборота и соответствующей формы атмосферной циркуляции через положение фронтальных разделов (атмосферных фронтов как основных накопителей влаги). Во-вторых, атмосферный влагооборот непосредственно завязан на такие типично низкочастотные процессы как сохранение или нарушение баланса энергии и баланса углового момента. Соответствующие балансовые уравнения выявляют процессы нарушения энергетического баланса и баланса вращения атмосферы вместе с Землей, которые могут происходить при развитии меридиональных процессов с осуществлением переноса массы воздуха и пара между тропическими широтами (с большой линейной скоростью) и медленно вращающимися воздуш-

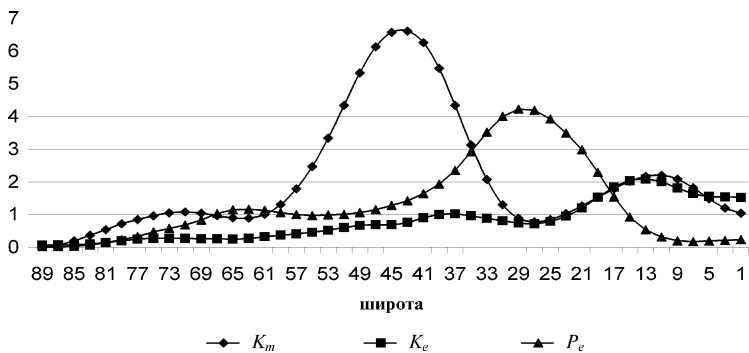
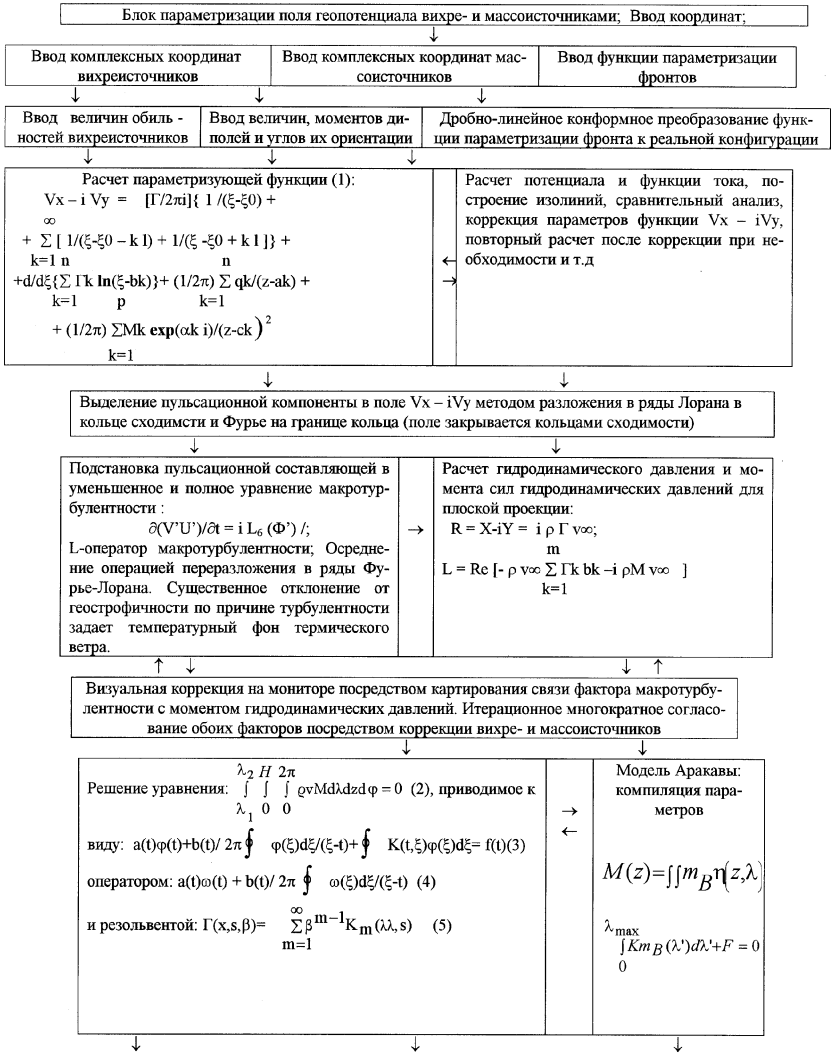
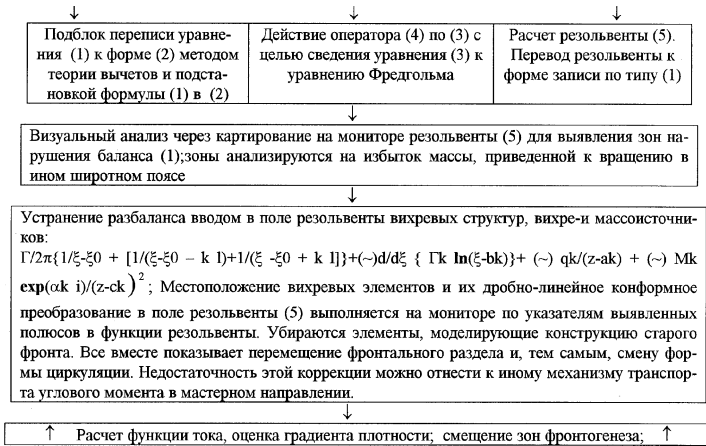


Рис.2. Распределение запасов среднеширотных величин K_m , K_e и P_e ($\times 10^5$ Дж м⁻²) летом

ными массами приполярных широт (собственно это и есть процесс медленной телеконнекции). В-третьих, атмосферные перестройки, выражающиеся сменой форм циркуляции, оказываются неразрывно связанными со сменой типового процесса и соответственно возникновением разбаланса по энергии и угловому моменту, а тем самым, и возникновением новых циклов атмосферного влагооборота. Последний является важным предиктором в долгосрочном прогнозе. Как правило, формы циркуляции достаточно хорошо отслеживаются, в то время как атмосферный влагооборот — напротив отслеживается недостаточно ясно. В случае нарушения энергетического баланса и баланса углового момента фактически возникает отток массы воздуха и влаги к югу, так как нарушение искомым балансов не может оставаться без последствий в атмосфере ввиду достаточно больших сил, задействованных в этом балансе. Естественно разбаланс вызывает эффекты сингулярности, т.е. резкую реакцию атмосферы для попытки его устранения (при этом возможна передача и в другие геосферы: гидро- и лито-). Такое серьезное воздействие на атмосферу в принципе может во многом явиться причиной смены формы атмосферной циркуляции, которая позволяет быстро устранить дисбалансы организацией быстрого транспорта влаги и воздуха скоростного вращения с севера на юг к своему моменту вращения. В любом случае динамика атмосферного влагооборота, выполнение балансов по энергии и угловому моменту атмосферы, смена форм циркуляции, их преемственность (плюс фронтогенез и телеконнекция) оказываются прямым и обратным образом, тесно связанными характеристиками атмосферы. Наконец, динамика их эволюции и взаимодействия, как нам представляется, не имеет четко выраженного о детерминистического характера, а как раз напротив должна описываться стохастическими моделями [13].

Схема расчета баланса энергии, углового момента, влагооборота, фактора макротурбулентности, поля функции тока
(пояснения см. в тексте и [6,9,1-13])





Литература

1. Ламли Дж.Л., Пановский Г.А. Структура атмосферной турбулентности. — М.: Мир, 1986. — С.244.
2. Матвеев Л.Т., Физика атмосферы.-Л.: Гидрометеиздат, 1995. — С.809.
3. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы: Пер. с англ. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 259 с.
4. Peixoto, J.P., Oort, A.H. Physics of climate// Rev. Mod. Phys., 1984. — Vol.56. — P.365-430.
5. Оорт А.Х. Балансовые соотношения в земной климатической системе // Динамика климата / Под ред. С. Манабе: Пер. с англ. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — С. 91-113.
6. Глушков А.В., Кивганов А.Ф. Моделирование климата как задача взаимодействия триплета солитонов // Метеорология и гидрология. — Одесса: ОГМИ. — 1999. — Вып. 38. — С. 3-8.
7. Филандер С.Дж., Расмуссон Е.М. Южная осциляция и Эль-Ниньо // Динамика климата / Под ред. С. Манабе: Пер. с англ. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — С. 205-223.
8. Oort, A.H., 1985: Balance relations in the terrestrial climatic system. *Advanc. Geophys.* — 1985. — Vol. 28. — P. 91-113.
9. Хохлов В.Н. Энергетический бюджет антициклонов в процессе их эволюции // Метеорология, климатология и гидрология. — Одесса: ОГМИ. — 1999. — Вып. 38. — С. 47-53.
10. Амбросов С.В. Супернизкочастотные планетарные солитоны. Энтропий-

- ний підхід і гідродинамічне предвычисление атмосферних процесів в 4-D просторі // Метеорологія і гідрологія. — 1999. — N38. — С. 71-76.
11. Глушков А.В., Амбросов С.В., Хохлов В.Н. Атмосферні хвилі, телеконекція, ячейки Гадлея і баланс кутового моменту // Метеорологія і гідрологія. — 1999. — N38. — С.42-46.
 12. Амбросов С. Фактор макротурбулентності в типових формах циркуляції атмосфери і в балансі по вологообороту і кутовому моменту // Метеорологія, кліматологія і гідрологія. — 1999. — N38. — С. 59
 13. Glushkov A.V., Khokhlov V.N. Atmospheric moisture-transfer, teleconnection, Hadley cells, energy and angle moment stochastic balance // In: Ecology of Siberia, the Far East and the Arctic. Ed.Zuev V.D. — SD RAN, 2001. — P.13-24.
 14. Wyrтки K. Teleconnection in the Equatorial Pacific ocean. // Science. — 1993. — N213. — P.66-68.
 15. Berri, G.J., Inzunza, B.J., The effect of the low-level jet on the poleward water vapour transport in the central region of South America // Atmos. Environ. — 1998. — Vol.A27,N3. — P.335-341.
 16. Rasmusson, E.M., Arkin, P.A. A global view of large-scale precipitation variability // J. Clim. — 1993. — Vol.6. — P.1495-1522.
 17. McCormick K.L. et al., Annual variations of water vapor in the stratosphere and upper troposphere observed by the Stratospheric Aerosol and Gas Experiment II // J. Geophys. Res. — 1993. — Vol. 98. — P.4867-4874.

А. В. Глушков, В. М. Хохлов

Атмосферний волого-тепло-переніс, телеконекція і баланс енергії та кутового моменту

АНОТАЦІЯ

Вперше виявлено комплексний зв'язок балансу основних характеристик (енергії, кутового моменту) системи "атмосфера-океан" з процесами тепло-масо-волоγο-переніса, докладно проаналізоване особливе значення атмосферного вологообороту у створенні різних форм циркуляції атмосфери. Запропоновано новий метод використання балансових співвідношень по енергії кутовому моменту і волого переносу в якості комплексного критерію для спостереження та виявлення еволюційних трендів форм циркуляції атмосфери, які створюються.

Glushkov A. V., Khokhlov V. N.

**Atmospheric moisture-heat-transfer, teleconnection and balance
on energy and angle moment**

SUMMARY

At first it is rediscovered a complex link between balance of ground characteristics (energy, angle moment) of the atmosphere-ocean system and processes of the heat-, mass-, moisture — transfer. It is in details analyzed a role of the atmospheric moisture transfer in creating different forms of atmospheric circulation. It is proposed a new method for application of the balance relationships on energy, angle moment, moisture transfer as a complex criterion for observing and forecasting the evolutionary trends for creating atmospheric circulation forms.