

Russian Academy of Sciences
International Research Center of
Environmental Physics and Ecology

**Environment of Siberia,
the Far East, and the Arctic**

V. V. Zuev and Yu. P. Turov, Editors

Tomsk 2001

АТМОСФЕРНЫЙ ВЛАГООБОРОТ, ТЕЛЕКОННЕКЦИЯ, ЯЧЕЙКИ ГАДЛЕЯ И БАЛАНС ЭНЕРГИИ, УГЛОВОГО МОМЕНТА

Глушков А.В., Хохлов В.Н.

Одесский гидрометеорологический институт, Одесса
ОГМИ, а/с 108, Одесса-9, 65009, Украина
тел.: 8-0482-637227, e-mail: glushkov@paco.net

В практике сверхдолгосрочных атмосферных прогнозов погоды и климата определилась необходимость разработки специальных методов наблюдений за низкочастотными колебаниями неравновесных термодинамических процессов в геосферах. До настоящего времени для индикации таких явлений применяют методы физико-статистического анализа и обработки массового материала обычной гидрометеорологической сети. Однако, эти приемы далеки от стандартизации и в некоторой степени уникальны для каждого из указанных долгопериодных процессов.

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 синоптических 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 этих процессов может совпадать с механикой солитона, имеющего долгопериодную основу энергетической подпитки. Солитон фронта основан на долговременном существовании и на самостоятельном динамизме фронтального раздела полярного фронта умеренных широт, опоясывающего земной шар. Аналогичные разделы арктического и тропического фронтов имеют несколько менее устойчивую структуру, т.к. находятся в зоне активного антициклогенеза арктического антициклона и субтропического пояса высокого давления, в которых активны солитоны Россби [1]. Поэтому солитон полярного фронта представляет собой характерный планетарный ансамбль низкочастотного волнового и вихревого процесса. Эффект телеконнекции изложен в статье Филандера С. и Расмуссена Е. [2]. В работе Оорта А. [3] основное внимание уделено балансу углового момента в планетарных динамических перемещениях воздушных масс. В частности, 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.

Мы предлагаем новый подход к расчету баланса углового момента атмосферы, базирующийся на использовании методов теории комплексного поля. Искомый расчет выполняется на основе интегрального уравнения:

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

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;

ха; 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.

Уравнение (1) есть интегральное уравнение 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., 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 в солитонах типа фронт. 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 вихреисточников 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 вихреисточниках и в вихревых точках соответственно.

Тогда ядро интегрального уравнения (3) становится сингулярным типа Коши и Гильберта. Связь поля плотности или индекса рефракции с полем комплексного потенциала или с полем комплексной скорости тривиальна посредством уравнений теории «мелкой воды»

Разрывы в полях метеорологических величин, которыми сопровождается феномен атмосферного фронта, формируют сингулярные особенности указанных полей. Для умеренных широт характерно сближение арктического и полярного фронтов, что приводит к сужению зоны циклонической деятельности, которая находится между арктическим антициклоном и субтропическим поясом повышенного давления. Зимой, например, гребни Сибирского антициклона смещают на юг полярный фронт над континентами, а арктический – над океанами, сближая его, тем самым, с полярным.

Ниже приведены результаты проведенных нами численных и имитационных экспериментов в летнее время при форме циркуляции M_1 по Вангенгейму и Гирсу. На рис.1 приведен результат расчёта аномалий функции тока, где направления вектора скорости соответствует тому, чтобы положительные значения были слева от потока. Из

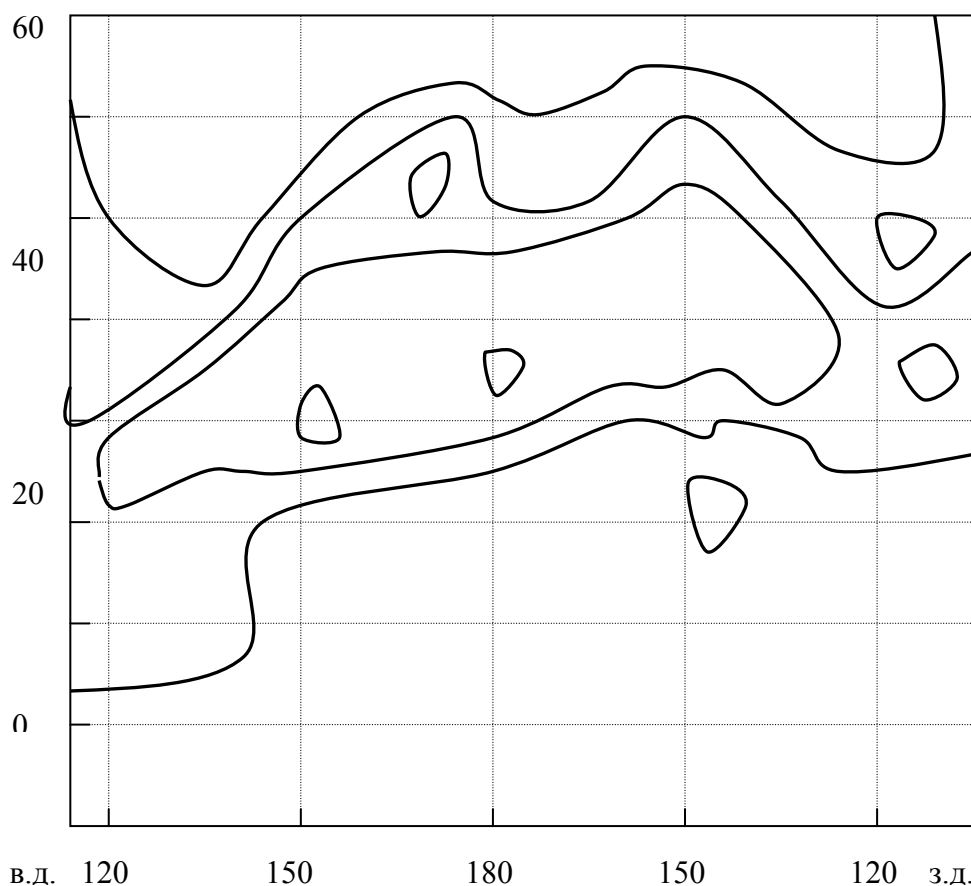


Рис. 1 – Функции тока в летнее время при форме циркуляции M_1 (см. текст).

рис.1 видно, 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.

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.

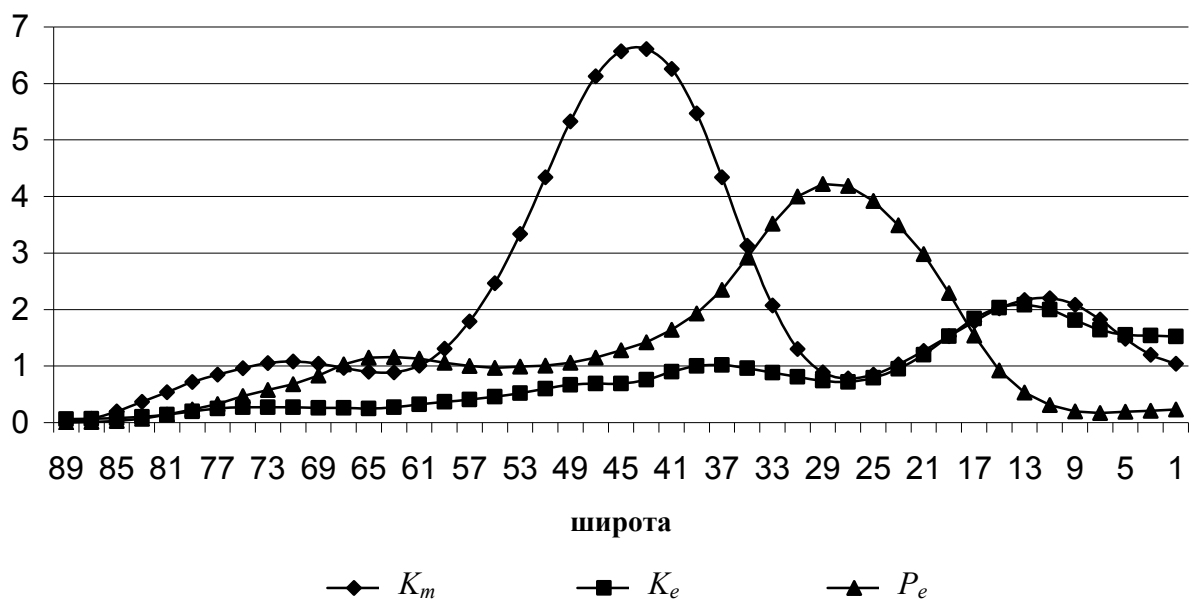


Рис.2 – Распределение запасов среднеширотных величин K_m , K_e и P_e ($\times 10^5$ Дж м⁻²) летом.

Литература

1. Глушков А.В., Ефимов В.А., Кивганов А.Ф. Моделирование климата как задача взаимодействия триплета солитонов // Метеорология, климатология и гидрология. – Одесса: ОГМИ. – 1999. – Вып. 38. – С. 3-8.
2. Филандер С.Дж., Расмуссон Е.М. Южная осцилляция и Эль-Ниньо // Динамика климата / Под ред. С. Манабе: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 205-223.
3. Оорт А.Х. Балансовые соотношения в земной климатической системе // Динамика климата / Под ред. С. Манабе: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 91-113.
4. Хохлов В.Н. Энергетический бюджет антициклонов в процессе их эволюции // Метеорология, климатология и гидрология. – Одесса: ОГМИ. – 1999. – Вып. 38. – С. 47-53.
5. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 259 с.

New monitoring methods of geophysics factors that have an influence on global-scale low-frequency processes are considered with application to long-range forecasting and climate theory. It is proposed the method of the calculation of atmospheric water-turnover as regulator of the value of momentum and energy balance. In work the particular attention is given to singular developments in the meteorological fields that accompanying rapid compensatory mass transfer. Method of the calculation of macroturbulence regime in typical atmospheric processes is realized. Physical dynamical theory is defined with applying to teleconnection between Hadley cell and Arctic anticyclone.