

Н. С. СИДОРЕНКОВ

О МЕЖДУПОЛУШАРНОЙ ТЕПЛОВОЙ МАШИНЕ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 5 VIII 1974)

С точки зрения термодинамики неравномерно разогретую по горизонтали атмосферу вправе рассматривать как тепловую машину, превращающую тепловую энергию в кинетическую энергию ветра. В современной физике атмосферы известны тепловые машины, в которых нагревателями и холодильниками являются соответственно для машин первого рода — экваториальные и полярные области, для машин второго рода — океаны и материки (зимой) и материки и океаны (летом), для машин третьего рода — стратосфера над материками и океанами и для машин четвертого рода — высокоширотные и тропические зоны стратосферы (1).

Поиски природы сезонной неравномерности вращения Земли привели нас к обнаружению неизвестной ранее тепловой машины, которая порождена различным нагревом атмосферы в летнем и зимнем полушариях (2). Нагревателем этой атмосферной машины (в дальнейшем будем называть ее междуполушарной тепловой машиной) является летнее полушарие, а холодильником — зимнее. Рис. 1 иллюстрирует этот факт. На нем приведены изменения с широтой зонального геопотенциала поверхности 30 мбар в январе и июле.

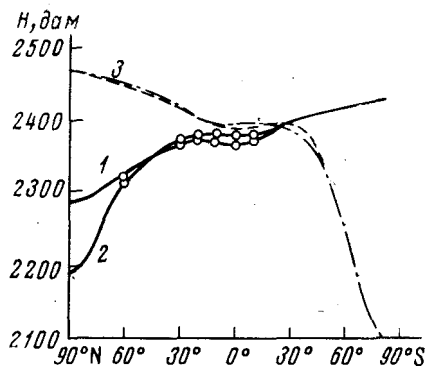


Рис. 1. Зависимость зонального геопотенциала поверхности 30 мбар от широты при восточной (1) и западной (2) фазах квазидвухлетнего цикла в январе (1 и 2) и июле (3)

Величины геопотенциала сняты с карт AT_{30} из работы (3). Рис. 1 показывает, что в июле средняя температура в столбе между землей и поверхностью 30 мбар почти непрерывно уменьшается от северного полюса до южного. Разность величин геопотенциалов составляет 364 дам. В январе, наоборот, температура почти непрерывно уменьшается от южного полюса до северного. Перепад величин геопотенциала в этом случае значительно меньший — 164 и 236 дам соответственно при восточной и западной фазах квазидвухлетнего цикла. В другие месяцы года аналогичные кривые располагают между крайними линиями 2 и 3. Смена знака в наклоне кривых имеет место в апреле и ноябре. В чем же проявляется работа междуполушарной тепловой машины и каково ее значение для решения научных и практических задач?

1. Исследования сезонной неравномерности вращения Земли (2, 4) показали, что между изменениями скорости вращения Земли $\delta\omega/\omega$ и относительного момента импульса атмосферы δh существует зависимость

$$\delta\omega/\omega = -\delta h/L; \quad (1)$$

здесь ω — угловая скорость суточного вращения Земли, L — момент импульса Земли.

Момент импульса h , удерживаемый в атмосфере, прямо пропорционален суммарной мощности атмосферных тепловых машин, которые имеют меридиональную составляющую градиента температуры. Поскольку поток тепла от Солнца практически постоянен, то мощность тепловой машины прямо пропорциональна лишь ее к.п.д., который в свою очередь прямо

пропорционален разности температур между нагревателем и холодильником и обратно пропорционален температуре нагревателя.

Важнейшими тепловыми машинами в атмосфере являются две тепловые машины первого рода (1). Их к.п.д. η_1 пропорционален

$$\eta_1 \sim \int_P^0 \left(\frac{T_3 - T_N}{T_3} + \frac{T_3 - T_S}{T_3} \right) dp \approx C - a \cos(\odot - \varphi_N), \quad (2)$$

где $T_3 \approx \text{const}$, $T_N = \bar{T}_N + N \cos(\odot - \varphi_N)$ и $T_S = \bar{T}_S + S \cos(\odot - \varphi_S)$ — средние широтные температуры соответственно экватора, северной и южной полярных шапок; \bar{T}_N и \bar{T}_S — средние годовые температуры, N и S — амплитуды, а φ_N и φ_S — фазы годовых колебаний температур соответственно над северной и южной полярными шапками; P — давление; $\odot = 2\pi t/365$ — долгота среднего Солнца, t — время в сутках. Здесь предполагается, что $\varphi_N - \varphi_S = \pi$ и введены обозначения

$$C \equiv \int_P^0 [2T_3 - (\bar{T}_N + \bar{T}_S)] / T_3 dp, \quad a \equiv \int_P^0 (N - S) / T_3 dp.$$

Итак, η_1 может испытывать лишь небольшие годовые колебания. Если же $N = S$, то $\eta_1 = C$, т. е. к.п.д. не меняется со временем.

Междуполушарная тепловая машина препятствует работе тепловых машин первого рода. Ее к.п.д. пропорционален

$$\eta_2 \sim \left\{ \begin{array}{l} \int_P^0 (T_N - T_S) / T_N dp \quad \text{при } T_N > T_S \\ \int_P^0 (T_S - T_N) / T_S dp \quad \text{при } T_N < T_S \end{array} \right\} \approx |\Pi + E \cos(\odot - \varphi_N)|, \quad (3)$$

$$\text{где } \Pi \equiv \int_P^0 (\bar{T}_N - \bar{T}_S) / \bar{T}_N dp, \quad E \equiv \int_P^0 (N + S) / \bar{T}_N dp,$$

а остальные обозначения прежние.

Суммарная мощность этих атмосферных тепловых машин и удерживаемый ими в атмосфере момент импульса имеют вид

$$\begin{aligned} h \sim \eta \sim \eta_1 - \eta_2 \sim C + a \cos(\odot - \varphi_N) - |\Pi + E \cos(\odot - \varphi_N)| \approx \\ \approx C - |\Pi + E \cos(\odot - \varphi_N)|. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, мощность тепловых машин первого рода и момент импульса, удерживаемый ими в атмосфере, почти постоянны в течение года. Междуполушарная тепловая машина же обуславливает сложные сезонные колебания момента импульса атмосферы h и, как следствие, вариации скорости вращения Земли. Дважды в год (в апреле и ноябре), когда $T_N = T_S$, междуполушарная машина «выключается». В эти моменты $\eta_2 = 0$, величина h максимальна и, как следствие, Земля вращается медленнее всего. В июле и январе η_2 имеет максимальные значения, величина h уменьшается до минимумов и Земля вращается наиболее быстро. Так как $\Pi > 0$, то июльский максимум скорости вращения Земли больше январского. Эти выводы находятся в полном согласии с наблюдаемыми сезонными вариациями вращения Земли, которые воспроизводятся на рис. 2, 1. Для подкрепления полученных выводов на рис. 2 синхронно с кривой неравномерности вращения Земли приведен ход модуля разности величин геопотенциалов над полярными шапками северного и южного полушарий $|H_{50}^N - H_{50}^S|$ (рис. 2, 2). Дело в том, что

$$|H_{50}^N - H_{50}^S| \sim \int_P^0 |T_N - T_S| dp \sim \eta_2 \sim -\delta h(\odot) \sim \delta \omega / \omega.$$

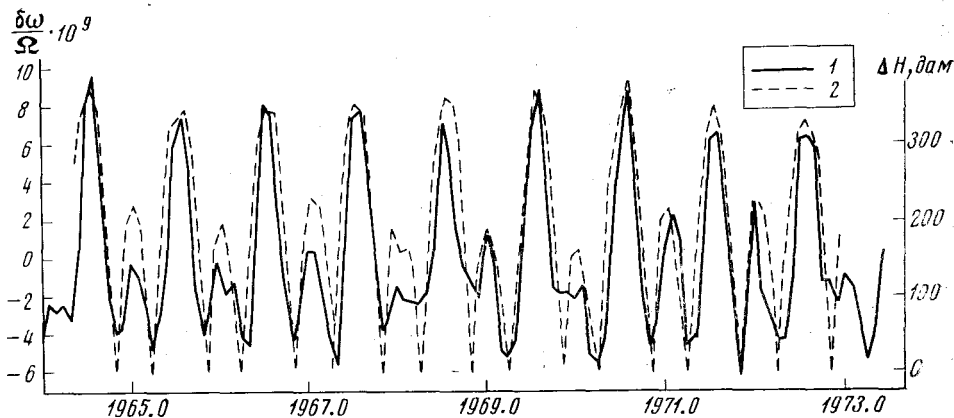


Рис. 2. Синхронные изменения сезонной неравномерности вращения Земли (1) и модуля разности величин геопотенциалов поверхности 50 мбар над полярными шапками северного и южного полушарий (2)

Величины H_{50}^N и H_{50}^S были сняты со средних месячных карт AT_{50} по нашему предложению Л. Г. Немеровской. Как и следовало ожидать, обнаруживается согласие в ходе обеих кривых. Это лишний раз подтверждает правильность полученных выше выводов.

2. В атмосферных тепловых машинах между нагревателем и холодильником происходит циркуляция воздуха, направленная от нагревателя к холодильнику в верхней ветви и обратно — в нижней ветви. Между колебаниями скорости в верхней и нижней ветвях существует сдвиг фаз ⁽¹⁾. Следствием его является некоторое результирующее перемещение воздуха по всему слою, захваченному циркуляцией. Существование междуполуполушарной тепловой машины требует дефицита массы воздуха в летнем полушарии и избытка его в зимнем. Исследования сезонного перераспределения воздушных масс показывают, что действительно $\sim 4 \cdot 10^{15}$ кг воздуха переносятся из северного полушария в южное от января к июлю и из южного полушария в северное от июля к январю ⁽⁵⁾. Это сезонное перераспределение масс воздуха между полушариями, являясь следствием работы междуполуполушарной машины, служит веским доказательством существования самой междуполуполушарной тепловой машины.

3. Междуполуполушарная тепловая машина порождает ячейку меридиональной циркуляции воздуха. Если отвлечься от макротурбулентных и зональных движений, то воздух течет вверх (в стратосфере) из летнего в зимнее полушарие, а вниз (в тропосфере) из зимнего в летнее полушарие. Проходя в тропосфере от зимнего к летнему полушарию, воздух по пути трансформируется (увлажняется, нагревается, загрязняется). В летнем полушарии он поднимается. При этом воздух охлаждается, влага конденсируется, образуются облака, выпадают осадки, выделяется скрытое тепло конденсации, происходит вымывание загрязнений. В зимнем полушарии сухой воздух, пришедший из летнего полушария, оседает. При этом он адиабатически нагревается, становится еще суше, облачность размывается.

Итак, междуполуполушарная тепловая машина приводит к постоянному переносу тепла из летнего полушария в зимнее, а также влаги и загрязнений — из зимнего полушария в летнее. Все это оказывает существенное влияние на особенности сезонного хода таких метеоэлементов, как осадки, облачность, температура и т. п.

Верхняя ветвь ячейки меридиональной циркуляции воздуха захватывает, вероятно, не только стратосферу, но и все вышележащие слои. Поэтому междуполуполушарная тепловая машина может оказывать существенное

влияние на процессы, протекающие в верхней атмосфере и ионосфере Земли. На это указывают «полугодовые» вариации различных характеристик верхней атмосферы и ионосферы (6). Они обнаруживают те же закономерности и описываются той же формулой (3), что и к.п.д. междуполуполушарной тепловой машины.

4. Сезонные изменения междуполуполушарной тепловой машины и, как следствие, интенсивности циркуляции между летним и зимним полушариями испытывают значительные вариации от года к году. Обнаруживается квазидвухлетняя и шестилетняя цикличность (2). Изменения интенсивности циркуляции приводят к вариациям потоков влаги, тепла и загрязнений. В частности, усиление циркуляции приводит к аномалиям количества облаков и осадков, положительной — в летнем полушарии и отрицательной — в зимнем. При ослаблении циркуляции имеет место обратное распределение знаков аномалий этих метеоэлементов. Вариации в количестве осадков и облачности над полушариями вызывают изменения в режиме гидросферы и биосферы.

Медленность вариаций работы междуполуполушарной тепловой машины, вероятно, позволит использовать их в прогнозах. Предварительный анализ сезонной неравномерности вращения Земли показывает, что после больших (малых) зимних максимумов скорости вращения Земли наблюдаются малые (большие) летние максимумы. Но чем больше (меньше) максимум скорости вращения Земли, тем интенсивнее (слабее) циркуляция воздуха между полушариями. Т. е. зарегистрировав в январе — феврале величину зимнего максимума скорости вращения Земли, можно сделать соответствующий прогноз интенсивности меридиональной циркуляции и, следовательно, прогнозы количества облаков, осадков, режима океанов и морей и агрометеорологических условий на предстоящее лето (июнь — август). Конечно, эти прогнозы являются фоновыми, т. е. они могут оправдаться лишь в масштабе всего полушария, так как на аномалии фона накладываются значительно большие региональные аномалии, которые порождаются другими тепловыми машинами и носят случайный характер. Первые исследования в этом направлении уже дали обнадеживающие результаты.

Таким образом, междуполуполушарная тепловая машина является одной из важнейших атмосферных тепловых машин. Уже сейчас видно, что именно она обуславливает сложные сезонные колебания момента импульса атмосферы и, как следствие, вариации скорости суточного вращения Земли, сезонный воздухообмен между полушариями, перенос влаги и загрязнений из зимнего полушария в летнее. Природа квазидвухлетней цикличности в атмосфере, по-видимому, тоже связана с еще не совсем ясными автоколебаниями в работе междуполуполушарной тепловой машины. Исследования междуполуполушарной тепловой машины открывают принципиально новые возможности для долгосрочных глобальных прогнозов погодных и агрометеорологических условий, гидрологического режима, переноса загрязнений и т. п.

В заключение заметим, что междуполуполушарная тепловая машина присутствует не только в атмосфере Земли, но и в атмосферах тех планет, у которых достаточно велик угол наклона экватора к плоскости орбиты и для которых Солнце является основным источником энергии. К таким планетам относятся, помимо Земли, Марс и, возможно, Меркурий. Атмосферы таких планет, как Сатурн, Уран и Нептун имеют внутренние источники энергии и роль междуполуполушарной тепловой машины для них проблематична.

Государственный астрономический институт
им. П. К. Штернберга
Москва

Поступило
25 VII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Шулейкин, Физика моря, «Наука», 1968. ² Н. С. Сидоренков, Метеорология и гидрология, № 1, 112 (1975). ³ А. А. Павловская, Метеорология и гидрология, № 7, 24 (1973). ⁴ У. Манк, Г. Макдональд, Вращение Земли, М., 1964. ⁵ Н. С. Сидоренков, Д. И. Стегновский, Изв. АН СССР, физ. атм. и океана, т. 7, № 9, 1096 (1971). ⁶ Г. С. Иванов-Холодный, Геомагнетизм и аэрономия, т. 13, № 6, 969 (1973).