

## ЭНЕРГЕТИКА АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ И КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Одна из основных задач общей циркуляции атмосферы заключается в том, чтобы найти ответ на вопрос, каким образом, под действием каких факторов некоторая часть потенциальной энергии атмосферы превращается в кинетическую энергию, в энергию атмосферных движений [1, 6, 22]. В технике известны многочисленные установки, в которых подводимая энергия идет на расширение газа или пара, который толкает поршень или лопасть турбины. Коэффициент полезного действия таких машин невысок, поскольку значительная часть энергии идет на нагревание самой установки. Коэффициент полезного действия земной атмосферы, если рассматривать ее как тепловую машину, должен быть еще ниже. Примерно только один процент энергии, получаемой атмосферой Земли от Солнца, идет на генерацию кинетической энергии [6, 16, 20, 21]. Примерно таким же низким коэффициентом полезного действия обладали паровые машины Уатта и братьев Черепановых. Однако для газовой оболочки планеты его следует признать скорее высоким. Лоренц впервые обратил внимание на это обстоятельство и показал, что такой коэффициент полезного действия является максимально возможным для такого рода установки, какой является атмосфера Земли [6, 20]. Это обстоятельство наводит на мысль о наличии в атмосфере Земли какого-то механизма, стимулирующего генерацию кинетической энергии в объеме, максимально возможном для такого рода тепловой «установки», какой является атмосфера Земли.

Кинетическая энергия, вырабатываемая в атмосфере Земли, не пропорциональна подводимой к Земле энергии, не пропорциональна она и потенциальной энергии атмосферы. Кинетическая энергия не составляет какой-то постоянной доли от потенциальной энергии атмосферы. Обнаруживается даже обратная связь между потенциальной энергией атмосферы и ее кинетической энергией. Летом, когда потенциальная энергия достигает максимальных значений, кинетическая энергия становится минимальной, зимой картина меняется. На рис. 1 приведены в одних и тех же единицах кривые годового хода энергии потенциальной, внутренней, энергии парообразования и кинетической энергии в атмосфере северного полушария

Земли по данным Оорта [21]. Хорошо видно, что ход кинетической энергии обратен годовому ходу общих энергетических запасов атмосферы, которые являются функцией годового хода лучистого притока тепла к северному полушарию. Аналогичные данные были получены Е. П. Борисенковым [1].

Если заглянуть в далекую историю климатов Земли, то окажется, что холодные эпохи, эпохи низких энергетических запасов атмосферы, были в то же время очень ветренными эпохами, а эпохи теплые — спокойными, т. е. кинетическая энергия атмосферы была большей тогда, когда потенциальная энергия была наименьшей. Эти факты заставляют сделать предположение о наличии какого-то

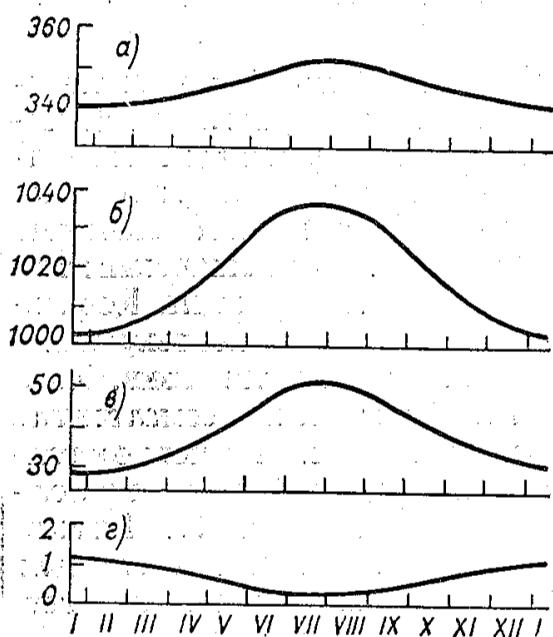


Рис. 1. Годовой ход энергии потенциальной (а), внутренней (б), энергии преобразования (в) и общей кинетической энергии (г) в атмосфере северного полушария.

механизма, способствующего переводу части потенциальной энергии, независимо от общей ее части, в кинетическую. Многочисленные исследования последних лет [5, 6, 17, 18, 22] показывают, что генерация кинетической энергии может существенно отличаться в двух соседних днях или в двух соседних годах, хотя и приток энергии к Земле и потенциальная энергия атмосферы были в обоих случаях одинаковыми. Характер и интенсивность общей циркуляции атмосферы зависят от распределения очагов генерации кинетической энергии, от того баланса, который устанавливается между генерацией и диссипацией кинетической энергии [6, 18]. Поскольку условия для диссипации энергии остаются примерно одинаковыми, то и количество диссипирующей энергии в атмосфере определяется главным образом количеством генерируемой энергии. Полная кинетическая энергия всех видов движений в атмосфере оценивается величиной порядка  $15 \cdot 10^5$  Дж/м<sup>2</sup>. Составляя сравнительно ничтожную долю от общих энергетических запасов атмосферы (см. рис. 1), она фактически определяет течение всех погодных процессов. По имеющимся многочисленным оценкам, скорость генерации (диссипации) кинетической энергии составляет 4—6 Вт/м<sup>2</sup>. Сравнение этой величины с полной кинетической энергией показывает, что если бы не происходило постоянного пополнения кинетической энергии, вся энергия атмосферы была бы растрачена за время порядка нескольких суток.

Наибольшие запасы кинетической энергии сосредоточены в субтропической зоне [5, 6, 10], наибольшая генерация и диссипация кинетической энергии также происходят в этой зоне. Из субтропической зоны часть кинетической энергии выносится в умеренные и полярные широты. Кроме того, благодаря западному переносу кинетическая энергия выносится из районов высотного циклогенеза в соседние районы [18, 22].

Особый интерес для метеорологов представляет исследование меридиональных составляющих циркуляции, которые хотя и слабее зональных составляющих на порядок и более, но определяют изменения характера общей циркуляции атмосферы, изменение погодных условий. Строго зональная циркуляция, сохраняющаяся в течение всего года, несмотря на ее громадные энергии, не обеспечивает резких изменений метеорологических параметров. Таким образом, поток энергии, идущий на создание погодообразующей меридиональной циркуляции в атмосфере, оказывается на три порядка меньше общего потока энергии, необходимого для поддержания общей кинетической энергии атмосферы. Холопайнен [12] впервые обратил внимание на незначительность этой величины. По его оценкам, поток энергии, идущей на поддержание меридиональной циркуляции, равен всего  $10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>.

И энергия для создания зональной циркуляции в верхней тропосфере (около 1 Вт/м<sup>2</sup>) и энергия для создания меридиональной циркуляции в верхней тропосфере (около  $10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>) черпаются из потенциальной энергии атмосферы. Постоянно то в одном, то в другом районе частицы воздуха приобретают кинетическую энергию. Эти районы являются источниками кинетической энергии атмосферы.

Чтобы возросла кинетическая энергия частицы воздуха, последняя должна принять участие в каком-то нисходящем движении и потерять часть своей потенциальной энергии, подобно тому как грузик маятника приобретает кинетическую энергию, двигаясь к нижней точке своей дугообразной траектории. Когда частица движется по изогипсе на постоянной высоте и выполняется геострофическое приближение, она не может принять участие в нисходящих потоках и приобрести кинетическую энергию за счет потенциальной. Как в теоретических [23], так и в экспериментальных работах показано, что только при появлении агеострофических составляющих ветра происходит генерация кинетической энергии в атмосфере Земли [18].

Существуют большие трудности в объяснении природы агеострофических составляющих ветра и генерации кинетической энергии именно в верхней тропосфере, где формируются макромасштабные особенности общей циркуляции атмосферы. Если в слое нижней тропосферы толщиной около 2 км появление агеострофических составляющих ветра объяснимо воздействием подстилающей поверхности на поток и скорость генерации сбалансирована скоростью диссипации энергии и не меняется существенно от одного периода к другому, то в верхней тропосфере в слое 8—12 км уровень генерации кинетической энергии испытывает большие и пока необъясни-

мые изменения [5, 16, 17, 18]. Даже в течение одного месяца величина генерируемой кинетической энергии может меняться несколько раз в одном и том же районе [17].

И для генерации кинетической энергии зонального ветра и для генерации кинетической энергии меридиональных движений — везде необходимо появление соответствующих агеострофических составляющих ветра. Предпринимались неоднократные попытки получить величину агеострофических составляющих ветра исходя из существующего поля скоростей. Этот путь оказался бесперспективным по двум обстоятельствам. Существующее поле ветра — это результат работы источников кинетической энергии в предшествующий период времени. Если использовать существующее поле ветра как источник агеострофических составляющих, тогда можно получить лишь эволюцию все того же поля ветра, но не его преобразование. Вместе с тем понимание природы агеострофических составляющих в верхней тропосфере будет решающим шагом в понимании законов, управляющих общей циркуляцией атмосферы, и процессов погодообразования.

Благодаря работам главным образом немецких метеорологов, в последние годы достигнуты определенные успехи в изучении агеострофических составляющих ветра в тропосфере. Исследована разница в направлении и скорости между реальным (наблюденным) ветром и геострофическим, вычисленным на основании учета распределения давления в районах с густой сетью аэрологических станций. Наибольшие расхождения наблюдаются на уровнях 200—300 мб, где различия в скорости ветра достигают 30—40% и становятся тем больше, чем больше величины реальных наблюдаемых ветров [14, 15]. Этот факт хорошо увязывается с результатами изучения генерации кинетической энергии в верхней атмосфере. Кинетическая энергия велика там, где происходит интенсивная генерация ее, отсюда агеострофический ветер, определяющий скорость генерации кинетической энергии, больше там, где больше реальный ветер. Минимум агеострофического ветра расположен на уровнях 700—500 мб, как и минимум генерации кинетической энергии в атмосфере. Наконец максимум агеострофического ветра у Земли совпадает с максимумом скорости генерации кинетической энергии. Кляйншмидт в работе [15] отметил чрезвычайно важное обстоятельство: в средней тропосфере отклонение реального ветра от геострофического невелико и носит случайный характер, так что, по-видимому, это различие обусловлено ошибками наблюдений за давлением и ветром. В верхней же тропосфере отклонение ветра от геострофического достаточно велико и упорядоченно. Он отметил, что на больших площадях периодически появляется агеострофический ветер одного и того же направления и необходимо искать какие-то причины этого явления [15].

Канг в одной из своих последних работ также поднимает вопрос о необычном расположении областей генерации кинетической энергии в атмосфере [18]. На рис. 2 приводится высотно-широтный разрез скорости генерации кинетической энергии за зимний период

над Северной Америкой, заимствованный из данной работы. Обращает на себя внимание наличие двух центров максимальной генерации кинетической энергии, на широте около 25 и 37°; эти области совпадают с наибольшими отклонениями ветра от геострофического. Но самое интересное заключается в том, что области генерации кинетической энергии жестко ограничены сверху и снизу и как бы закреплены над субтропическими широтами. Автор затруднился дать какие-либо объяснения этого факта.

Современные теоретические объяснения появления агеострофического ветра основываются на двух гипотезах [7]: либо имеет

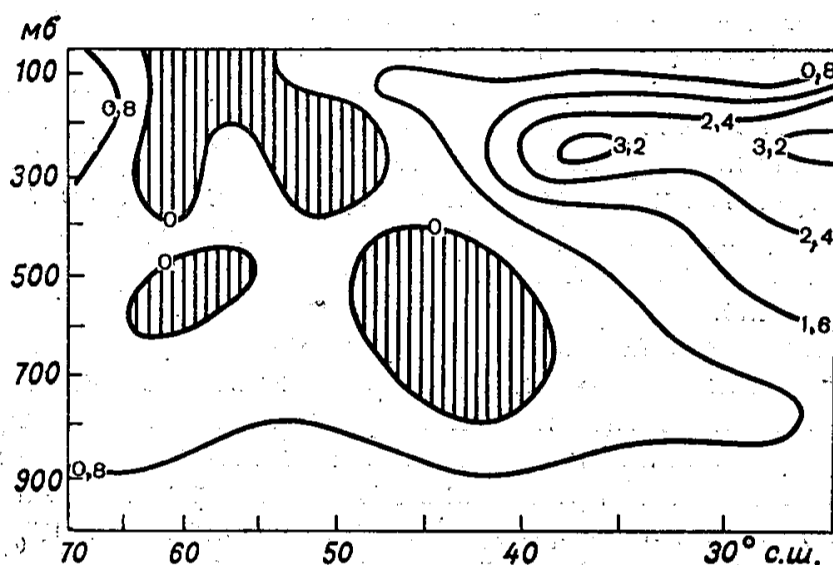


Рис. 2. Высотно-широтный разрез скорости генерации кинетической энергии, ( $\text{Вт}/\text{м}^2$  (50 мб), осредненной за три зимних месяца, над Северной Америкой.

место ускорение движущихся частиц воздуха, либо горизонтальный макротурбулентный обмен воздействует на стационарный воздушный поток. Учитывая данные, приведенные на рис. 2, а также тот факт, что коэффициент макротурбулентного обмена не меняется с высотой достаточно сильно от 850 до 150 мб, можно считать, что главный фактор, приводящий к появлению агеострофического ветра, связан с ускорением движущихся частиц воздуха. Можно поставить вопрос, способны ли заряженные частицы, вторгаясь в атмосферу Земли, вызывать значительные ускорения частиц воздуха. Если это возможно, тогда вторгающиеся потоки протонов высокой энергии могут служить стимуляторами процесса обращения доли потенциальной энергии атмосферы в кинетическую и тогда характер и интенсивность общей циркуляции атмосферы будут зависеть от притекающего к Земле потока протонов высокой энергии.

Из исследований солнечно-атмосферных связей известно, что лучшие связи между Космосом и циркуляцией атмосферы обнаруживаются, когда используется напряженность меридиональной

[8, 9] составляющей циркуляции. С другой стороны, для прикладных задач наиболее интересны также изменения этой составляющей.

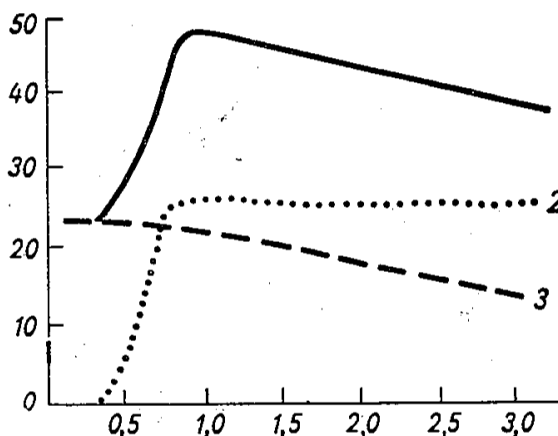
Существующие запасы кинетической энергии в меридиональной составляющей циркуляции — это фактически итог работы некоторых источников мощностью  $10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>. Об этом уже говорилось выше. Доступная вихревая потенциальная энергия переводилась в кинетическую энергию меридиональных движений. Этот процесс для удобства дальнейшего изложения назовем «выполняющим» процессом. Основа или причина появления его в атмосфере Земли заключается в том, что в определенном районе в определенное время сложились благоприятные условия для появления другого процесса — «управляющего». Суть этого процесса заключается в том, что в этом районе реальный ветер по каким-то причинам стал отличаться от геострофического. Выше уже отмечалось, что агеострофическая составляющая ветра в верхней тропосфере составляет величину порядка нескольких десятков процентов от реального ветра. Если на создание меридиональной составляющей циркуляции требуется поток энергии  $10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>, то на создание агеострофической составляющей необходимо  $10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup>, т. е. на порядок меньше.

Приведенные оценки, конечно, нуждаются в уточнении. До сих пор, к сожалению, не были проведены исследования энергетики агеострофических составляющих ветра в верхней тропосфере, что связано с определенными техническими и вычислительными трудностями. Вместе с тем приведенные оценки порядка величин энергии, необходимой для перестройки меридиональной циркуляции, изменения характера общей циркуляции атмосферы, изменения погоды наконец поражают своей небольшой величиной по сравнению с теми величинами, которыми обычно оперируют в метеорологии и которые соизмеримы с лучистыми притоками энергии в атмосферу Земли, равными примерно  $10^3$  Вт/м<sup>2</sup>. Энергетика процессов, управляющих погодой, на семь-восемь порядков меньше энергетики процессов, обеспечивающих сохранение теплового режима газовой оболочки Земли, она сравнима с выработкой энергии, производимой людьми в некоторых районах мира. Из этого, правда, не следует вывод, что люди сейчас в состоянии влиять на погодообразующий процесс, на создание агеострофических составляющих ветра в верхней тропосфере, которые стимулируют генерацию кинетической энергии меридиональной циркуляции. Вырабатываемая людьми энергия излучается в атмосферу, но атмосфера имеет необычайно низкий коэффициент полезного действия: около 1% для генерации зональной кинетической энергии, как отмечалось выше, и около  $10^{-3}$ % для генерации меридиональной циркуляции. Положение коренным образом бы изменилось, если бы вырабатываемая людьми энергия могла быть передана непосредственно частицам воздуха для создания некоторого упорядоченного движения в атмосфере. При обсуждении возможностей воздействия человека на крупномасштабные циркуляционные процессы было отмечено, что воздействие небольших энергий, приложенных к горизонтальным

и вертикальным скоростям длительное время, гораздо эффективнее громадных тепловых затрат [11]. Предлагалось, например, поднимать в воздух тысячи вертолетов, чтобы, влияя на вертикальные движения, изменять макромасштабную циркуляцию.

Человек не располагает сейчас реальными возможностями, чтобы доступную энергию эффективно переводить в кинетическую энергию движущегося газа. Различного рода вентиляторы, аэродинамические трубы и т. п. — малоэффективные и дорогостоящие устройства. Однако в природе существует один очень эффективный механизм создания упорядоченного движения в газе, в котором почти вся имеющаяся энергия может быть передана газу: Этот механизм осуществляется при прохождении упорядоченного потока высокоэнергичных частиц через холодный газ. Благодаря упругим

Рис. 3. Сечение для упругого и неупругого взаимодействия протонов высоких энергий с протонами и нейтронами. По оси абсцисс — кинетическая энергия протонов,  $10^9$  эВ. По оси ординат — сечение в миллибарах,  $10^{-27}$  см<sup>2</sup>. 1 — полное взаимодействие, 2 — неупругое, 3 — упругое.



и квазиупругим соударениям почти вся энергия высокоэнергичных частиц может быть рассеяна на частицах газа, в котором появятся упорядоченные движения. На этом принципе основана работа водоструйных и пароструйных насосов. Когда из ускорителя протонов или других высокоэнергичных частиц поток выводят в газовую мишень, в ней возникает циркуляция газа.

В атмосферу Земли постоянно вторгается поток высокоэнергичных частиц, генерированных в недрах Галактики и на поверхности Солнца. С ростом энергии, особенно в области энергии  $10^9$  эВ и выше, заряженные частицы теряют большую долю энергии в неупругих соударениях с частицами газа, однако со временем частица теряет свою энергию, затормаживается и, оказавшись вне указанного интервала, оставшуюся энергию тратит в упругих и квазиупругих соударениях. На рис. 3 приводятся сечения упругих и неупругих взаимодействий протона с протонами [2] в зависимости от энергии налетающего протона.

В метеорологической науке около 40 лет назад установилось мнение, что космические лучи представляют собой совершенно ничтожный источник энергии для земной атмосферы, который сравним

с лучистой энергией, приходящей от звезд, или с энергией, идущей из недр Земли [8]. Когда складывалось убеждение, что космические лучи никак не влияют на циркуляцию атмосферы, ни об энергетике космических лучей, ни об энергетике атмосферы ничего не было известно. Ошибка некоторых ученых, пытавшихся оценивать значение разных притоков энергии к атмосфере Земли, заключается в том, что энергию, вносимую космическими лучами, они рассматривали с тех же позиций, как и все остальные потоки лучистой энергии, входящие в атмосферу. Этого делать нельзя по той причине, что всякий поток лучистой энергии неизбежно должен быть вовлечен в малоэффективный цикл тепловой машины, в то время

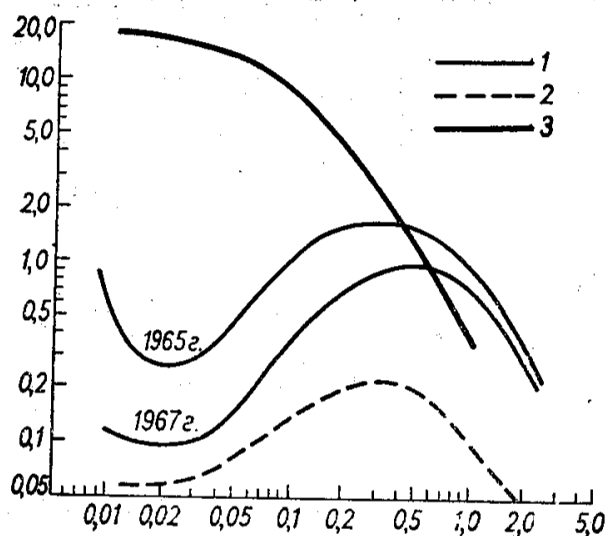


Рис. 4. Дифференциальные спектры галактических протонов в максимуме и минимуме солнечной активности (1), альфа-частиц (2) и протонов, генерированных в солнечных вспышках (3).

По оси абсцисс — кинетическая энергия протонов,  $10^9$  эВ. По оси ординат — поток частиц,  $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{МэВ}^{-1}$ .

как протоны высокой энергии могут непосредственно усилить или ослабить «управляющий» механизм погодообразования. Рассеивая свою энергию в атмосфере Земли, протоны высокой энергии могут создавать в слое, в котором они поглощаются, некоторое упорядоченное движение. Это движение, будучи несвязанным со строением барического поля, может создать агеострофическую составляющую ветра, благодаря которой начнется перевод потенциальной энергии в кинетическую энергию меридиональной циркуляции. Вопрос заключается в том, в состоянии ли протоны высокой энергии создать в верхней тропосфере достаточный для перестройки поля агеострофический ветер.

В результате интенсивных исследований космического пространства выяснилось, что в атмосферу Земли вторгаются протоны, альфа-частицы и ядра более тяжелых атомов и что даже малые вспышки на Солнце постоянно добавляют в поток частиц галактического происхождения частицы солнечного происхождения [3, 19]. На рис. 4 приводятся последние данные о спектрах заряженных частиц, вторгающихся в атмосферу. С учетом этих данных осредненный во времени поток энергии, притекающий из Космоса к магнитосфе-



ре Земли, можно оценить величиной порядка  $10^{-3}$  эрг·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> или  $10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Изменяющаяся конфигурация магнитных полей в околоземном Космосе, меняющийся уровень хромосферной активности Солнца могут приводить к тому, что приносимая к Земле энергия может либо возрастать, либо убывать в несколько раз. Нас интересуют те ситуации, когда приносимая энергия возрастает и потому для грубой оценки мы примем величину  $3 \cdot 10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup> для протонов в диапазоне энергий  $3 \cdot 10^8$  —  $3 \cdot 10^9$  эВ. Мы обращаем внимание на протоны этой энергии по ряду обстоятельств: а) энергия этих протонов поглощается в тонком слое верхней тропосферы; б) протоны этой энергии основную долю своей энергии расходуют на упругие и квазиупругие взаимодействия с частицами воздуха; в) протоны этой энергии эффективно взаимодействуют с магнитными полями Космоса, а также с магнитным полем Земли; г) протоны этой энергии, наконец, несут значительную долю энергии всех высокоэнергичных частиц в Космосе.

Все вариации потоков протонов в космическом пространстве за суточный интервал, не имели бы существенного значения для циркуляции атмосферы, поскольку поток энергии едва ли бы мог быть больше  $10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup>. Земля обладает мощным магнитным полем, строение которого таково, что оно способно фокусировать заряженные частицы, попадающие в сферу его воздействия. Сфера, которая захватывает протоны указанных выше энергий, имеет радиус, в 2—3 раза больший радиуса Земли [4]. Изотропный поток протонов может захватываться поверхностью магнитосферы, равной  $10^{20}$  см<sup>2</sup>. Упорядоченный земным магнитным полем поток протонов может покинуть магнитосферу в области магнитной аномалии, размеры которой обычно занимают площадь от  $10^{17}$  до  $10^{18}$  см<sup>2</sup>. Таким образом, после прохождения магнитосферы поток протонов может оказаться уплотненным в сотни и тысячи раз. В атмосферу Земли в отдельных благоприятных районах в отдельные благоприятные периоды может вноситься заряженными частицами энергия от  $3 \cdot 10^{-4}$  до  $3 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>. Конечно, часть этой энергии будет потеряна на неупругие соударения, часть будет рассеяна в неупорядоченных движениях, однако сам факт сходства порядков энергий между «управляющим» процессом в верхней тропосфере и энергией, вносимой туда протонами высокой энергии, заставляет пересмотреть отношение к космическим лучам. Протоны высокой энергии могут стимулировать перевод потенциальной энергии в кинетическую энергию меридиональной циркуляции.

Приведенные выше оценки безусловно не являются решающим доказательством связи космических лучей с характером и интенсивностью общей циркуляции атмосферы. Решающие доказательства может дать только специально поставленный эксперимент, в котором одновременно будут даны оценки генерации кинетической энергии меридиональной циркуляции и оценки поглощаемой в верхней тропосфере энергии протонов, выходящих из магнитосферы Земли. В работах Мустеля, Шуки, Шурманса и Сазонова приводи-

лись доказательства связи моментов вторжения протонов высокой энергии с моментами возмущения атмосферной циркуляции. Это косвенно подтверждает справедливость приводимых здесь энергетических оценок и убеждает в необходимости проведения специально поставленного эксперимента.

Необходимость специального эксперимента диктуется тем, что в обычной метеорологической практике наблюдения ведутся за энергоемкими процессами, которые легко наблюдаются и оцениваются. Например, превращение одного вида энергии в другой можно оценить и по обычным аэрологическим данным. Для определения агеострофических составляющих ветра уже необходима густая сеть аэрологических станций и учащенные подъемы зондов. Для оценок притока энергии, идущей на генерацию агеострофических составляющих зональной и меридиональной циркуляции, потребуются еще более частая сеть станций и более частые подъемы. Особенно частые подъемы будут необходимы для получения времени запаздывания между максимумом генерации кинетической энергии и максимумом агеострофического ветра. Специальный эксперимент должен быть направлен на вскрытие интимных процессов, протекающих в атмосфере Земли, которые мы выше назвали «управляющими» процессами.

В деятельности человека процесс «управляющий» легко отличить от процесса «выполняющего»: перевод железнодорожной стрелки, включение рубильника определяют дальнейшее движение поезда или работу мощной энергосистемы, хотя энергетически нет никакой связи между первым процессом и вторым. В природных условиях такая связь может существовать, но отделить первый процесс от второго не всегда удается. Действует определенный гипноз наличия имеющихся у исследователя данных об энергоемких процессах. Не исключено, что к изучению управляющих процессов, которые будут определять будущее состояние атмосферной циркуляции, метеорология только подходит, а попытки из текущей циркуляции извлечь информацию о будущей циркуляции объясняются тем, что у метеорологов нет иного выбора, поскольку интимные, управляющие погодообразованием процессы лежат вне поля зрения существующих методов наблюдений.

Если протоны высокой энергии определяют основные особенности атмосферной циркуляции, тогда информацию о будущем состоянии погоды следует искать в текущих процессах, протекающих на Солнце и в космическом пространстве. В плазме Солнца и в безвоздушном космическом пространстве магнитные поля могут существовать месяцы и годы и определять режим облучения Земли протонами высоких энергий. Нигде в атмосфере и на поверхности Земли немислимо столь длительное хранение информации. Оценивая с этих позиций возможности долгосрочного метеорологического прогноза, мы можем отметить большие перспективы в этом направлении, которые могут открыться в том случае, если будет использоваться гелиокосмическая информация, определяющая ход управляющего погодообразующего процесса.

*Самосов Кем...*

Использование протонов высокой энергии в качестве стимулятора генерации кинетической энергии в атмосфере объясняет: а) высоту генерации кинетической энергии в верхней тропосфере — протоны высокой энергии поглощаются на тех же высотах; б) широту преимущественной генерации кинетической энергии — протоны указанной энергии упорядоченно входят в атмосферу Земли лишь в субтропических широтах; в) изменчивость временного хода генерации кинетической энергии — поток протонов высокой энергии испытывает большие временные изменения; г) независимость уровня генерации кинетической энергии от потенциальной энергии атмосферы; д) тот факт, что район Великих озер на Северо-Американском континенте является мощным источником кинетической энергии атмосферы на северном полушарии [18], это объясняется повышенным притоком протонов высокой энергии в районе Северо-Американской магнитной аномалии.

Таблица 1

Площадь пятен в центральной зоне Солнца в миллионных долях полусферы Солнца (среднее за декаду)

Декабрь 1862 г.			Январь 1963 г.			Февраль 1963 г.		
I	II	III	I	II	III	I	II	III
88	53	99	18	342	205	1	2	6

В заключение рассмотрим один из примеров достаточно интенсивной генерации кинетической энергии в тропосфере и стратосфере в январе 1963 г. В этот период произошло одно из самых грандиозных внезапных повышений температуры в стратосфере. Во второй и третьей декадах января произошло резкое повышение запятненности Солнца. В табл. 1 приводятся средние декадные значения запятненности Солнца в широтной зоне от 0 до 15° северной гелиошироты. Эта зона наиболее четко контролирует процессы в околоземном Космосе за счет определенного наклона силовых магнитных линий. 15 и 26 января через центральный меридиан Солнца проходили два больших пятна. 14 января началась магнитная буря, было зарегистрировано возмущение магнитосферы, возросла интенсивность потока частиц в радиационных поясах и потоков, направленных в атмосферу Земли [13].

Исследуя генерацию кинетической энергии над Северной Америкой за 5-летний период (май 1958 г.— апрель 1963 г.), Канг обратил внимание на то, что вторая половина января 1963 г. характеризовалась необычными пространственными характеристиками генерации [16, 17]. На рис. 5 приведены высотные профили генерации кинетической энергии в февралях 1959—1963 гг., а также профили генерации за первую и вторую половины января 1963 г. Если первая половина января 1963 г. ни высотой максимума генерации кинетической энергии, ни абсолютной величиной генерации не отличалась по своим характеристикам от февраля, то вторая половина месяца оказалась аномальной. Максимум генерации кинетической

энергии в 3—5 раз выше нормального уровня для верхней тропосферы. В нижней тропосфере уровень генерации кинетической энергии оказался невозмущенным. На рис. 6 приведены кривые временного хода скорости генерации общей кинетической энергии на разных уровнях над Северной Америкой в январе 1963 г. Как легко видеть, в нижней тропосфере вариации в скорости генерации кинетической энергии невелики и неупорядочены. На разных уровнях

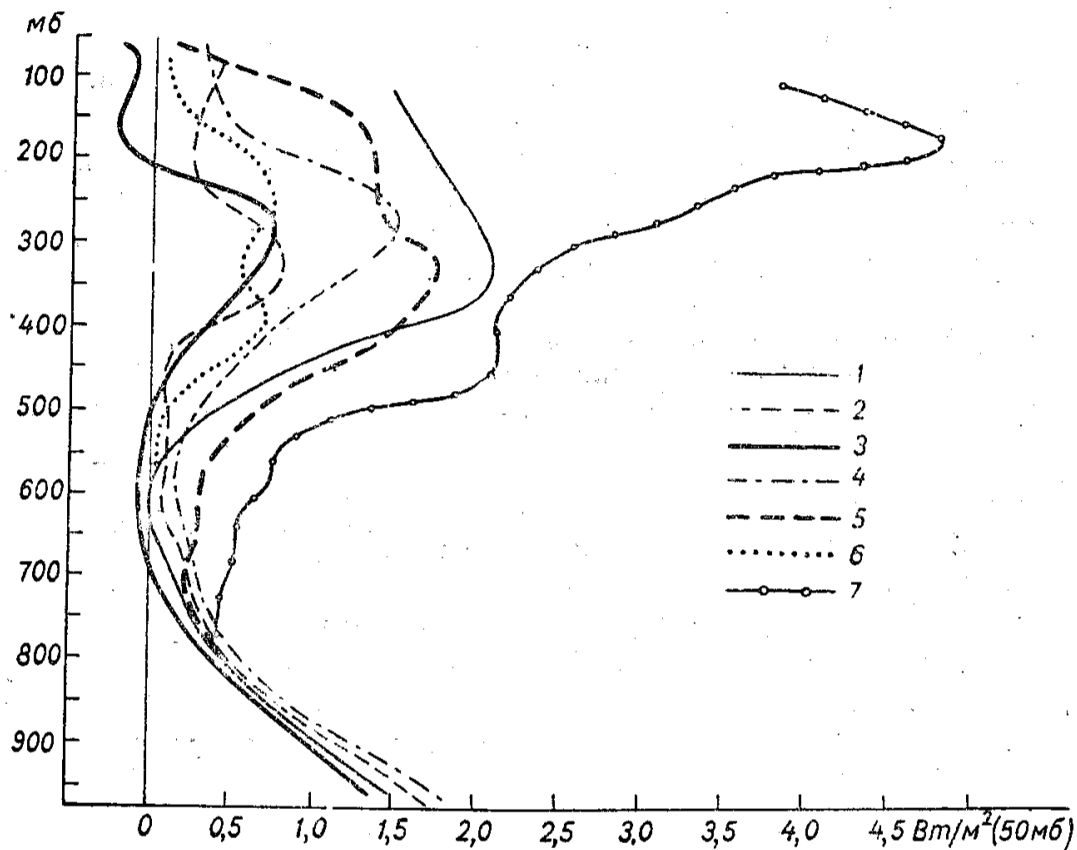


Рис. 5. Высотные профили генерации кинетической энергии в февральх 1959—1963 гг. в сравнении с генерацией кинетической энергии в первую и вторую половины января 1963 г.

1) 1959 г., 2) 1960 г., 3) 1961 г., 4) 1962 г., 5) 1963 г.,  
6) 2—11 I 1963 г., 7) 15—24 I 1963 г.

верхней тропосферы и нижней стратосферы скорость генерации кинетической энергии происходит синхронно и временами достигает очень больших величин, не свойственных нижней тропосфере. Резкая вспышка генерации кинетической энергии в верхней тропосфере произошла 14—15 января 1963 г. Характерно, что за день до этого в верхней тропосфере наблюдалась сильная диссипация кинетической энергии, что соответствует отрицательным значениям генерации. Этот факт служит доказательством того, что новый «управляющий» процесс, вызвавший вспышку генерации кинетической энергии, не был продолжением тех условий, которые определяли генерацию кинетической энергии до этого. Начав работать, новый управляющий процесс создал кинетическую энергию в таких по-

тока, которые не согласовались с существующими потоками. Это способствовало возрастанию турбулентной вязкости верхней тропосферы и быстрому росту диссипации кинетической энергии. Столкновение двух управляющих процессов, старого и нового, по-видимому, всегда должно приводить к разрушению имеющихся запасов кинетической энергии верхней атмосферы. Скорость диссипации кинетической энергии верхней атмосферы будет тем больше,

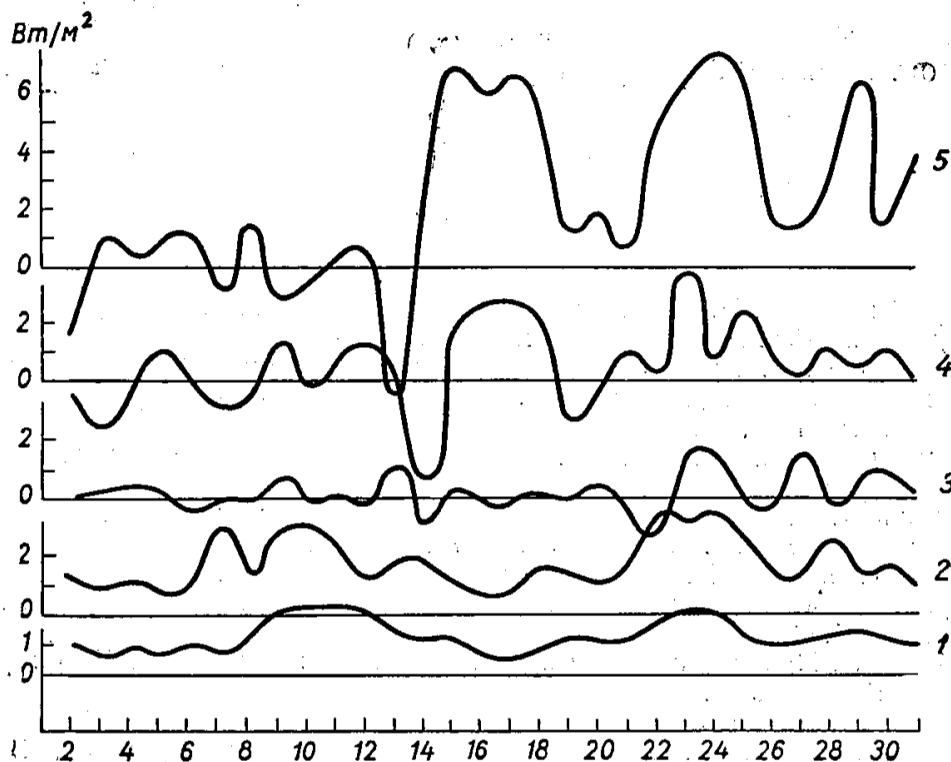


Рис. 6. Кривые временного хода скорости генерации кинетической энергии на разных уровнях атмосферы над Северной Америкой в январе 1963 г.

1—уровень Земли, 2—950 мб, 3—700 мб, 4—400 мб, 5—150 мб.

чем больше различий между старым и новым полем скоростей. Вопрос этот практически еще не исследован, но представляет большой интерес для понимания процессов, происходящих в верхней тропосфере. Исследование скорости диссипации кинетической энергии в верхней атмосфере, ее локализации в пространстве имеет не только теоретический, но и практический интерес, поскольку в этих характеристиках содержится информация о новом управляющем процессе, который будет определять погоду в следующий период времени. 14 января 1963 г. действительно происходила значительная перестройка высотного барического поля тропосферы.

Подводя итог сказанному выше, можно отметить следующее.

1. Существенные для изменения характера общей циркуляции атмосферы процессы требуют подведения в общем небольшой энергии, около  $10^{-4}$  В/м<sup>2</sup>, что на много порядков меньше потоков лучистой энергии, получаемой Землей от Солнца.

2. Протоны высоких энергий в отдельные периоды в отдельных районах могут вносить такую энергию. Она почти целиком может пойти на создание горизонтальных ветров в верхней тропосфере. Энергия высокоэнергичных частиц в атмосфере Земли уникальна — минуя малоэффективный цикл тепловой машины, она может прямо переходить в кинетическую энергию воздушных масс.

3. Если протоны высокой энергии изменяют характер и интенсивность меридиональной циркуляции, тогда ценную для долгосрочного прогноза информацию следует искать в характеристиках активности Солнца, в характеристиках межпланетной среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенков Е. П. Сезонное преобразование энергии в атмосфере Северного полушария.— Тр. ААНИИ, 1963, т. 253, с. 109—121.
2. Векслер И. В. Нуклон-нуклонные и пион-нуклонные взаимодействия.— Тр. 9-й международной конференции по физике высоких энергий. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 36—52.
3. Дорман Л. И., Мирошниченко Л. И. Солнечные космические лучи. М., «Наука», 1968. 468 с.
4. Дорман Л. И., Смирнов В. С., Тясто М. И. Космические лучи в магнитном поле Земли. М., «Наука», 1971. 400 с.
5. Игнатишина Е. Н. Некоторые черты зимнего распределения кинетической энергии атмосферных движений вдоль 140 в. д.— Тр. НИИАК, 1967, вып. 46, с. 172—201.
6. Лоренц Э. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л., Гидрометеоиздат, 1970. 258 с.
7. Панчев С., Смирнов М. Макротурбулентный обмен в атмосфере и отклонения ветра от геострофического.— Гидрология и метеорология, 1971, XX, кн. 2, с. 3—9.
8. Сазонов Б. И. О возможной роли частиц космических лучей в солнечно-тропосферных связях.— Тр. ГГО, 1966, вып. 198, с. 89—106.
9. Сазонов Б. И., Логинов В. Ф. Солнечно-тропосферные связи. Л., Гидрометеоиздат, 1969. 115 с.
10. Шабельникова М. В. Перераспределение кинетической энергии в тропосфере и стратосфере при зимних стратосферных потеплениях.— Тр. ГМЦ, 1971, вып. 74, с. 74—83.
11. Юдин М. И. О возможном воздействии на крупномасштабные атмосферные движения.— В кн.: «Современные проблемы климатологии». Л., Гидрометеоиздат, 1966, с. 393—411.
12. Holopainen E. O. On the role of mean meridional circulations in the energy balance of the atmosphere.— *Tellus*, 1965, vol. 17, No. 3, pp. 285—294.
13. Iorgensen T. S. Morphology of VLF Hiss Zones and their correlation with Particle Precipitation Events.— *J. Geoph. Res.*, 1966, vol. 71, No. 5, pp. 1367—1375.
14. Kiefer W. Statistische Untersuchung über ageostrophische Wind-komponenten in den freien Atmosphäre.— *Met. Rundschau*, 1971, 24, H. 4, VII—VIII, pp. 97—103.
15. Kleinschmidt E. Ageostrophische Windfelder in der hohen Troposphäre.— *Beitr. Phys. fr. Atm.*, 1965, vol. 38, No. 1, pp. 28—40.
16. Kung E. C. Kinetic energy generation and dissipation in the largescale atmospheric circulation.— *Monthly Weather Rev.*, 1966, vol. 94, No. 2, pp. 67—82.
17. Kung E. C. Diurnal and long-term variations of the kinetic energy generation and dissipation for a five-year period.— *Monthly Wether Rev.*, 1967, vol. 95, No. 9, pp. 593—606.

18. Kung E. C. On the meridional distribution of source and sink terms of the kinetic energy balance.—Monthly Weather Rev., 1970, vol. 96, No. 12, pp. 911—916.
19. Lesniak J. A. and Webber W. R. Solar modulation of Cosmic Ray Protons, Helium Nuclei and Electrons.—J. Geoph. Res., 1971, vol. 76, No. 7, pp. 1605—1624.
20. Lorenz E. V. Generation of available potential energy and the intensity of the general circulation.—Dynamics of Climate, Pergamon Press., New-York, 1960, pp. 86—92.
21. Oort A. H. The observed annual cycle in the meridional transport of atmospheric Energy.—J. Atm. Sci., 1971, vol. 28, No. 3, pp. 325—339.
22. Saltzman B., Tewels S. Further statistics on the exchange of kinetic energy between harmonic components of atmospheric flow.—Tellus, 1964, vol. 16, pp. 432—438.
23. Smagorinsky J. General Circulation Experiments with the primitive equations.—Monthly Weather Rev., 1963, vol. 91, No. 3, pp. 99—164.

273092

Ленинградский  
Гидрометеорологический институт  
БИБЛИОТЕКА  
Л-д 19819. Малосортенский пр., 98

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ  
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

ТРУДЫ

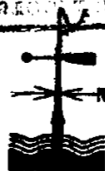
ВЫПУСК 316

ОБЩАЯ И СИНОПТИЧЕСКАЯ  
КЛИМАТОЛОГИЯ

Под редакцией

д-ра геогр. наук О. А. ДРОЗДОВА  
и канд. геогр. наук Е. В. ВОРОБЬЕВОЙ

Ленинградский  
Гидрометеорологический институт  
БИБЛИОТЕКА  
д-д 193196, Маломосковский пр., 98



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ

ЛЕНИНГРАД • 1974

273092.

06  
7/2