



Серия «Науки о Земле»  
2010. Том 3, № 1. С. 30–38  
Онлайн-доступ к журналу:  
<http://isu.ru/izvestia>

---

---

ИЗВЕСТИЯ  
*Иркутского  
государственного  
университета*

---

---

УДК 551.501.755:551.509.313.11

## Распределение энергии атмосферных течений над территорией России

П. Г. Ковадло ([kovadlo2006@rambler.ru](mailto:kovadlo2006@rambler.ru))  
О. С. Кочеткова ([oliakochetkova@mail.ru](mailto:oliakochetkova@mail.ru))

**Аннотация.** На основе справочных аэрологических данных над территорией России исследовано распределение средней и турбулентной составляющих кинетической энергии воздушных течений. Показаны годовые изменения фоновых энергетических характеристик атмосферных движений. Выявлены наиболее энергетически значимые слои атмосферы и активные зоны, в частности над Западно-Сибирской низменностью и Дальним Востоком.

**Ключевые слова:** кинетическая энергия, турбулентность.

### Введение

Проблема энергетики атмосферных процессов является одной из важнейших в современной метеорологии. Распределение источников и стоков энергии, её перенос и трансформация отражают все характерные черты атмосферных процессов, их характер и интенсивность. Обоснованность любой гипотезы, относящейся к атмосфере, определяется в первую очередь, тем, насколько удовлетворительно она объясняет важнейшие энергетические функции циркуляционного механизма [11].

Плодотворность энергетического подхода в изучении атмосферы заключается в том, что он обеспечивает единую шкалу при оценке вклада изучаемых процессов в общую циркуляцию атмосферы и, таким образом, позволяет описать физические механизмы этого развития. Виды энергии, подверженные преобразованию, характеризуют специфику этих процессов, и соответствующий анализ позволяет в простой и обозримой форме отразить их существенные особенности. Кроме того, наличие значительных запасов определенного вида энергии в атмосфере может использоваться как прогностический критерий процесса. Исследования энергетики атмосферы необходимы также для совершенствования описания энергетического цикла в численных моделях атмосферной циркуляции.

Как показывают данные теоретических и экспериментальных исследований, в атмосфере наблюдается широкий пространственно-временной спектр движений: от движений микромасштаба (тепловое движение молекул) до движений макромасштаба (зональный поток). Вследствие того что в атмосфере одновременно присутствуют системы движений различного масштаба, уравнениям динамики и энергетики можно придать такой вид,

при котором в них будут содержаться средние значения физических величин и отклонения от средних значений. Временное и пространственное осреднение отфильтровывает те турбулентные движения, масштаб которых меньше пространственного и временного интервалов осреднения. Однако разделение движения на среднее и турбулентное полностью зависит от выбора пространственно-временной области, для которой определены средние значения. Все вихри большего размера вносят вклад в среднее движение, все вихри меньшего размера – в турбулентное движение, определенное соответствующими флуктуациями тех же физических величин [1, с. 28–31].

### Материалы и методика исследований

Интенсивность атмосферных процессов количественно можно оценить величиной кинетической энергии. Кинетическая энергия для единицы объема воздуха определяется выражением:

$$E = \frac{\rho \cdot V^2}{2},$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – скалярная скорость ветра м/с.

В настоящей работе на основе справочных сетевых аэрологических наблюдений [3–8] на 101 станции по территории бывшего СССР за период с 1961 по 1970 годы на уровнях 850, 700, 500, 300, 250, 200, 50 гПа и по данным архива NCEP/NCAR Reanalysis были рассчитаны средняя кинетическая энергия (средняя составляющая кинетической энергии  $\bar{E}$ ) и среднее квадратическое отклонение кинетической энергии (турбулентная составляющая кинетической энергии  $E_T$ ) воздушных течений за текущий месяц. Затем полученные значения были помесечно осреднены за выбранный период. Статистическая выборка на одной станции составляет 14 600 значений для каждого уровня.

Полученные данные использованы для построения распределений значений кинетической энергии осредненного течения и значений турбулентной энергии на каждом уровне для всех сезонов года над территорией России. Кроме этого для сравнения были рассчитаны и построены аналогичные распределения по данным архива NCEP/NCAR Reanalysis. Получено хорошее согласие конечных результатов.

Приземные карты распределений кинетической энергии из-за сильного влияния локальных факторов подстилающей поверхности на режим ветра не рассматривались.

Известно, что горизонтальный градиент давления является основной движущей силой, вызывающей перемещение воздуха. Ветровой режим в конкретных регионах определяется положением крупномасштабных барических ложбин и гребней, которые формируются под действием крупномасштабных циркуляционных процессов. Следовательно, конфигурация

полей  $\overline{E}$  и  $E_T$  является следствием взаимодействия выше перечисленных факторов.

### Результаты исследований

На рис. 1 и рис. 2 показано распределение средней составляющей кинетической энергии воздушных течений на уровне 850 гПа, а на рис. 3 и рис. 4 на этом же уровне – распределение турбулентной составляющей кинетической энергии по территории России в зимний и летний периоды.

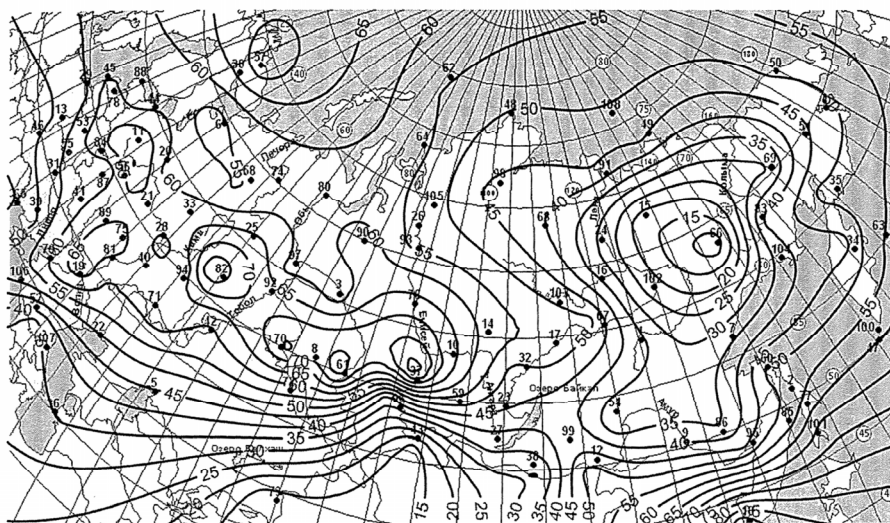


Рис. 1. Распределение средней составляющей кинетической энергии воздушных течений по территории России в зимний период на уровне 850 гПа

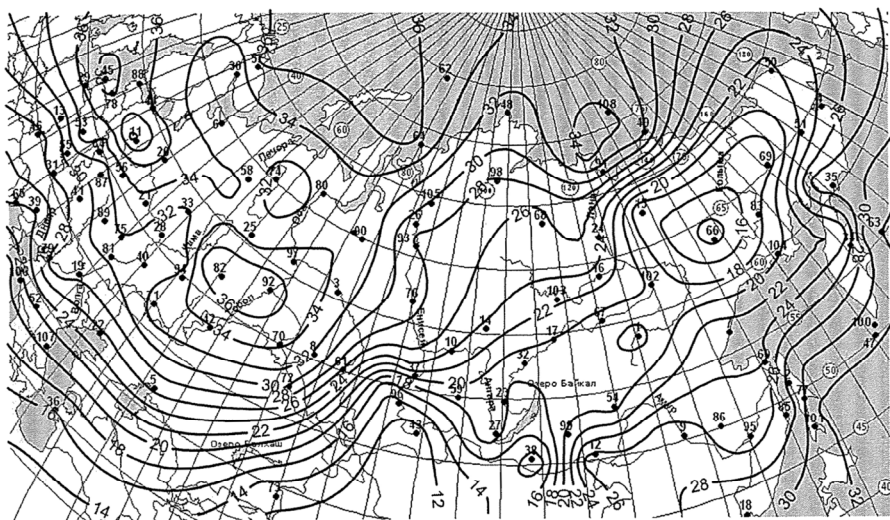


Рис. 2. Распределение средней составляющей кинетической энергии воздушных течений по территории России в летний период на уровне 850 гПа

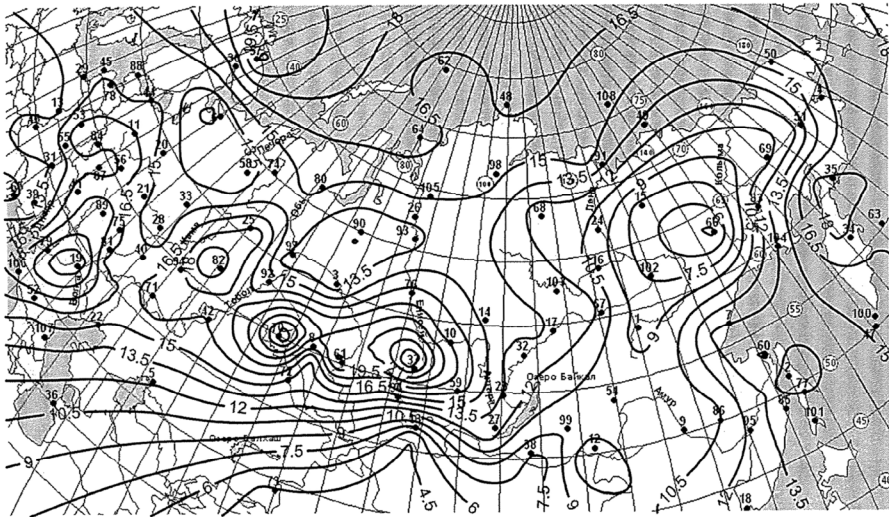


Рис. 3. Распределение турбулентной составляющей кинетической энергии воздушных течений по территории России в зимний период на уровне 850 гПа

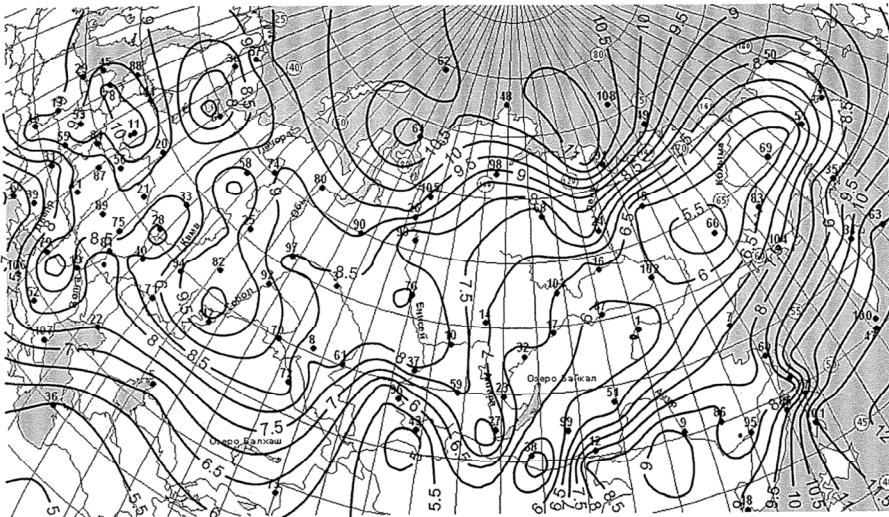


Рис. 4. Распределение турбулентной составляющей кинетической энергии воздушных течений по территории России в летний период на уровне 850 гПа

На рисунках 1–4 видно, что распределение  $\overline{E}$  и  $E_T$  неоднородно по территории и имеет несколько локальных зон с повышенными и пониженными значениями. Причем эти зоны в течение года мало перемещаются. Одна зона располагается над Дальним Востоком и прилегающими островами, вторая зона – над районами Западной Сибири и Красноярским краем, наиболее четко она проявляется в холодный период года. Также хорошо в течение года проявляют себя две зоны с минимальными значениями  $\overline{E}$  и  $E_T$ , первая – над Якутией, вторая – над Южным Казахстаном. Можно счи-

тать это фоновым энергетическим портретом атмосферных течений на рассматриваемой территории.

Основным фактором, объясняющим пониженные значения кинетической энергии воздушных течений, является Азиатский антициклон. От Азиатского максимума атмосферного давления отходят два отрога: на северо-восток, где формируется вторичный Оймяконский центр высокого давления и на запад – в направлении Азорского максимума, который формирует так называемую ось Воейкова. Она протягивается через Казахский мелкосопочник на Уральск – Саратов – Харьков – Кишинев и далее вплоть до южного побережья Франции. Эта полоса высокого давления и зимой, и летом является основным ветровым разделом для равнинной части Казахстана. По мере удаления от этой полосы высокого давления скорость ветра уменьшается. В январе в Центральном Казахстане среднемесячная скорость ветра составляет 4–6 м/с, а в Южном Казахстане только 2–4 м/с. Летом по всей этой территории скорость ветра снижается. Среднемесячная скорость ветра в июле на севере составляет 2–3 м/с, на юге – 1–2 м/с [11].

В северо-восточной части отрога высокого давления (Якутия) формируется воздух, характеризующийся очень низкими температурами, мощными приземными инверсиями, малой влажностью, высокой прозрачностью и слабым ветром. Летом на большей части территории Якутии устанавливается размытое барическое поле со слабо выраженной циклоничностью или антициклоничностью. Отрог пониженного давления южно-азиатского минимума направлен на северо-восток в сторону Оймяконского нагорья, где образуется самостоятельное ядро пониженного давления [2, с. 302–303]. На большей части территории Республики Саха преобладают слабые и умеренные ветры: от 0 до 5 м/с – около 93 %, со скоростью от 0 до 1 м/с – около 59 %. Наибольшая вероятность малых скоростей ветра (до 2 м/с) приходится на зимние месяцы, а умеренных скоростей (2–5 м/с) – на летние [11].

Максимальные значения  $\bar{E}$  и  $E_T$  отмечаются над Дальним Востоком и прилегающими островами. Это обусловливается господствующим влиянием дальневосточной тропосферной ложбины и муссонным режимом ветра, который охватывает не только нижний слой воздуха, но и всю толщу тропосферы. У восточного побережья России, область низкого давления расположена в непосредственной близости от северо-восточного отрога антициклона, поэтому образуется высокий градиент давления (особенно вблизи северного берега Охотского моря). Холодный континентальный воздух умеренных широт (на юге) и арктический (на севере) выносятся на акваторию морей. Зимний муссон представляет собой северо-западный и северный перенос континентального воздуха по восточной периферии азиатского антициклона. Летний муссон характеризуется южными и юго-восточными воздушными течениями, связанными с циклонами над востоком материка и прилегающими морями Тихого океана.

Вторая область максимума средней и турбулентной составляющих кинетической энергии течений расположена над территорией Западной

Сибири и Красноярским краем и наиболее выражена в зимний период. В зимнее время над данной территорией устанавливается область высокого давления, летом – пониженного. Зимой, когда циклоническая деятельность на территории Западной Сибири ослабевает, поступление атлантического воздуха заменяется арктическим. Глубокому проникновению арктических воздушных масс способствует равнинная местность и открытость ее к северу.

Для выявления характера изменчивости  $\bar{E}$  и  $E_T$  по вертикали были построены профили кинетической энергии на станциях, расположенных в областях проявления максимумов и минимумов энергии.

Как видно на рис. 5, а средняя составляющая кинетической энергии незначительно увеличивается до высоты 700 гПа, затем довольно резко растет, достигая максимума на уровне 300 гПа (за исключением ст. Панфилов, максимальное значение там отмечается на 250 гПа), далее рост сменяется падением и на поверхности 50 гПа, отмечаются минимальные значения  $\bar{E}$  порядка  $10 \text{ Дж/м}^3$  для всех станций.

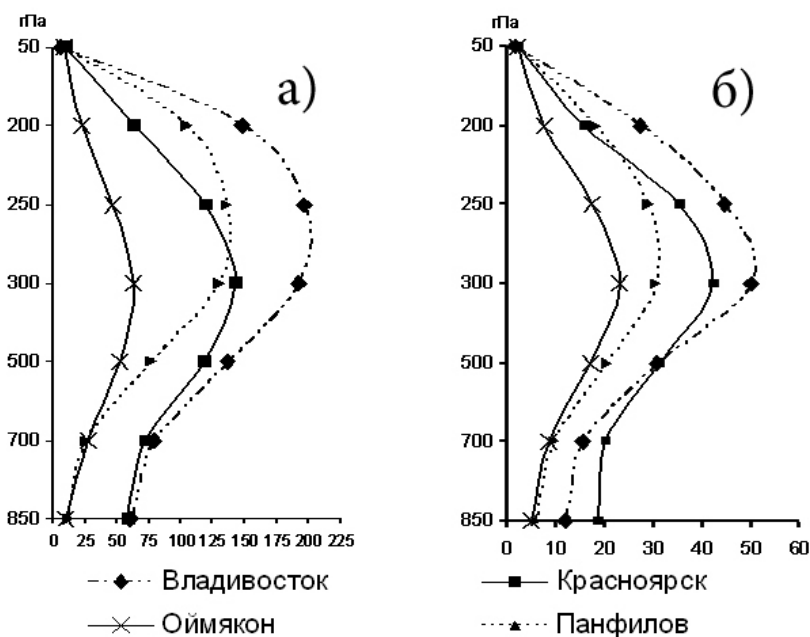


Рис. 5. Среднегодовые вертикальные профили средней (а) и турбулентной (б) составляющих кинетической энергии

Характер вертикальных профилей турбулентной составляющей кинетической энергии мало отличается от характера вертикальных профилей средней составляющей кинетической энергии, а именно  $E_T$  возрастает до уровня 300 гПа, затем убывает.

Максимальные значения средней и турбулентной составляющих кинетической энергии сосредоточены в верхней тропосфере, в областях струйных течений. Уменьшение кинетической энергии выше 300 гПа можно

объяснить тем, что с переходом в стратосферу наблюдается обратный ход скорости ветра – её уменьшение [10]. Также с высотой уменьшаются значения плотности воздуха, и, несмотря на еще достаточно высокие значения скорости ветра выше уровня 300 гПа, кинетическая энергия там мала. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее энергоёмким слоем в атмосфере является слой, заключенный в пределах от 500 до 250 гПа.

Особый интерес представляет отношение турбулентной к средней составляющей кинетической энергии ( $E_T/\bar{E}$ ), которое является характеристикой интенсивности турбулентности. Вертикальные профили для  $E_T/\bar{E}$ , изображенные на рис. 6, дают представление об изменении интенсивности турбулентности с высотой.

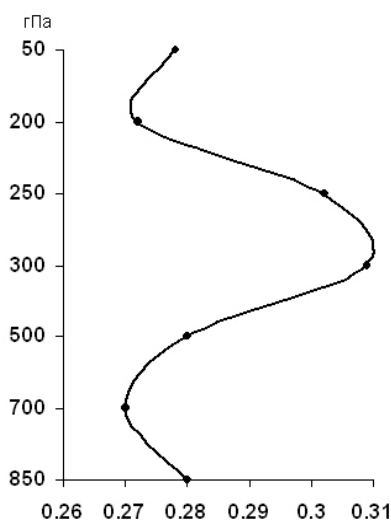


Рис. 6. Среднегодовые вертикальные профили интенсивности турбулентности для территории России

В среднем для территории России интегральная интенсивность турбулентности равна 0,28. Однако, как видно на рис. 6, вертикальная структура турбулентности неоднородна. В частности, если рассматривать вертикальное изменение интенсивности турбулентности в процентном отношении, то получается, что в слое 850 – 700 гПа турбулентность уменьшается на 1 %; в слое 700 – 300 гПа возрастает на 4 %; в слое 300 – 200 гПа уменьшается на 4 %, а выше до 50 гПа наблюдается рост порядка 1 %. В нижнем слое тропосферы с удалением от подстилающей поверхности интенсивность турбулентности уменьшается. В средней и верхней тропосфере интенсивность турбулентности поддерживается за счет сдвиговых механизмов, что особенно характерно для областей струйных течений. Из анализа рис. 6 следует, что максимальные значения интенсивности турбулентности сосредоточены в слое от 500 до 250 гПа, который, как было показано выше, является наиболее энергоёмким для атмосферы.

## Выводы

В результате анализа распределения полей средней и турбулентной составляющих кинетической энергии над территорией России были выделены регионы с наибольшими и наименьшими значениями кинетической энергии. Причем их местоположение в течение года остается стабильным, а изменяется только интенсивность. Выявлены наиболее энергетически активные зоны, в частности над Западно-Сибирской низменностью и Дальним Востоком.

Над территорией России наибольшей кинетической энергией обладает западно-восточный поток в слое 500 – 250 гПа.

Средняя интенсивность турбулентности воздушных течений над территорией России составляет 28 %.

## Список литературы

1. *Ван Мигем Ж.* Энергетика атмосферы / Ж. Ван Мигем. – Л. : Гидрометеоздат, 1977. – 28–31 с.
2. *Дроздов О. А.* Климатология / О. А. Дроздов. – Л. : Гидрометеоздат, 1989. – 568 с.
3. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Т. 2 : Характеристики ветра и геопотенциала, кн. 2 / под ред. И. Г. Гутермана. – М. : Гидрометеоздат, 1979. – 200 с.
4. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Т. 2 : Характеристики ветра и геопотенциала, кн. 3 / под ред. И. Г. Гутермана. – М. : Гидрометеоздат, 1979. – 184 с.
5. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Т. 3 : Характеристики ветра и геопотенциала, кн. 1 / под ред. И. Г. Гутермана. – М. : Гидрометеоздат, 1980. – 200 с.
6. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Т. 3 : Характеристики влажности и плотности, кн. 2 / под ред. И. Г. Гутермана. – М. : Гидрометеоздат, 1980. – 200 с.
7. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Т. 3 : Характеристики влажности и плотности, кн. 3 / под ред. И. Г. Гутермана. – М. : Гидрометеоздат, 1980. – 184 с.
8. Новый аэроклиматический справочник свободной атмосферы над СССР. Пояснит. текст / под ред. И. Г. Гутермана. – М. : Гидрометеоздат, 1979. – 27 с.
9. *Пальмен Э.* Циркуляционные системы атмосферы / Э. Пальмен, Ч. Ньютон. – Л. : Гидрометеоздат, 1973. – С. 90.
10. Справочник по климату СССР. – Л. : Гидрометеоздат, 1966. – Вып. 24, ч. 2. – 298 с.
11. *Фарахутдинова А. Н.* Высотно-сезонная структура доступной потенциальной и кинетической энергии в нижней и средней атмосфере / А. Н. Фарахутдинова, В. В. Гурьянов, А. Ю. Елькин // Физика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 42, № 1. – С. 64–72.



## **Distribution of energy of atmospheric currents over territory of Russia**

P. G. Kovadlo, O. S. Kochetkova

**Abstract.** The kinetic energy distribution of air motions above Russia. Reference-book aerological data have been employed for examining the kinetic energy distribution of the averaged and turbulent air motions above Russia. Annual variations are shown for the background energy characteristics of the atmospheric fluxes. The most energetically-important atmospheric layers and active zones have been revealed – particularly, over the West-Siberian lowlands.

**Key words:** kinetic energy, turbulence.

*Ковадло Павел Гаврилович*  
*доктор физико-математических наук*  
*Иркутский государственный университет*  
*664033, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1*  
*профессор географического факультета*  
*тел.: 89646583999*  
*Институт солнечно-земной физики СО*  
*РАН*  
*664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а*  
*ведущий научный сотрудник*

*Кочеткова Ольга Сергеевна*  
*аспирант*  
*Институт солнечно-земной физики СО*  
*РАН*  
*664033, Иркутск, ул. Лермонтова 126а*  
*тел.: 89246056128*