

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Ростов А.П., Шефер Н.А.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

e-mail: rostov@iao.ru, shefer@iao.ru

Рассматриваются результаты обработки данных, полученных с помощью многопараметрического измерителя турбулентных микропульсаций компонент скорости ветра, температуры, влажности, давления и концентрации аэрозольных частиц. Приводятся результаты статистической обработки экспериментальных временных рядов компонент скорости ветра и температуры (ультразвуковой анемометр-термометр), коэффициента аэрозольного рассеяния (нефелометр). Также производилась регистрация относительной и абсолютной влажности, приходящей и уходящей радиации. Из полученных данных были рассчитаны дисперсии флуктуаций оптических и метеорологических параметров; автоспектры флуктуаций температуры, скорости ветра, влажности и коэффициента рассеяния; турбулентные потоки импульса, тепла и аэрозольных частиц; спектры турбулентных потоков.

Исследование атмосферной турбулентности является одной из проблем современной атмосферной физики. Под атмосферной турбулентностью понимают и флуктуации скорости ветра, и флуктуации температуры, и флуктуации плотности воздуха, возникающие вследствие разрушения регулярного движения воздуха в атмосфере. Турбулентные пульсации метеорологических элементов превращают атмосферу в среду со случайными неоднородностями.

В результате турбулизации течения воздуха появляются вертикальные турбулентные потоки импульса, тепла, частиц и т.д. Теоретические аспекты изучения турбулентных потоков разработаны достаточно широко и подробно описаны в ряде фундаментальных работ [1–4]. Экспериментальные исследования турбулентных явлений важны и по сей день, в этой области накоплен немалый опыт и возможно проследить основные тенденции в проведении экспериментальных исследований и в построении пульсационных измерителей и комплексов для получения характеристик турбулентных потоков. Необходимо дальнейшее накопление экспериментальных данных о турбулентных характеристиках приземного слоя в связи с разнообразием типов подстилающей поверхности, широким диапазоном масштабов воздушных потоков при различных условиях термической стратификации и радиационных режимах в атмосфере. Целью проведенного эксперимента является изучение приземного слоя на основе долговременных комплексных измерений турбулентных параметров.

Измерения проводились с помощью многопараметрического измерителя характеристик атмосферы. Прибор может быть использован для проведения длительных синхронных измерений пульсаций температуры, скорости ветра, влажности и коэффициента направленного аэрозольного светорассеяния в приземном слое. Измеритель представляет собой компактный

прибор, который объединяет в своем составе акустический измеритель трех компонент температуры и скорости ветра, оптический инфракрасный измеритель микропульсаций абсолютной влажности, датчики температуры, давления, и относительной влажности, одноугловой нефелометр открытого типа, для измерений пульсаций коэффициента аэрозольного рассеяния и оценки пульсаций концентрации атмосферного аэрозоля [5]. Измерения динамических и термодинамических характеристик турбулентности также сопровождаются измерениями солнечной радиации.

Измерение рядов метеопараметров осуществлялось с частотой 3 Гц. Получены синхронные временные ряды микропульсаций абсолютной влажности, компонент скорости ветра, температуры и коэффициента аэрозольного рассеяния. Кроме того, как было упомянуто, именно турбулентные потоки определяют перенос тепла, влаги и аэрозоля воздушными течениями, интенсивность испарения с поверхности почвы, формируют впоследствии микроклимат приземного слоя и влияют на развитие крупномасштабных движений в атмосфере.

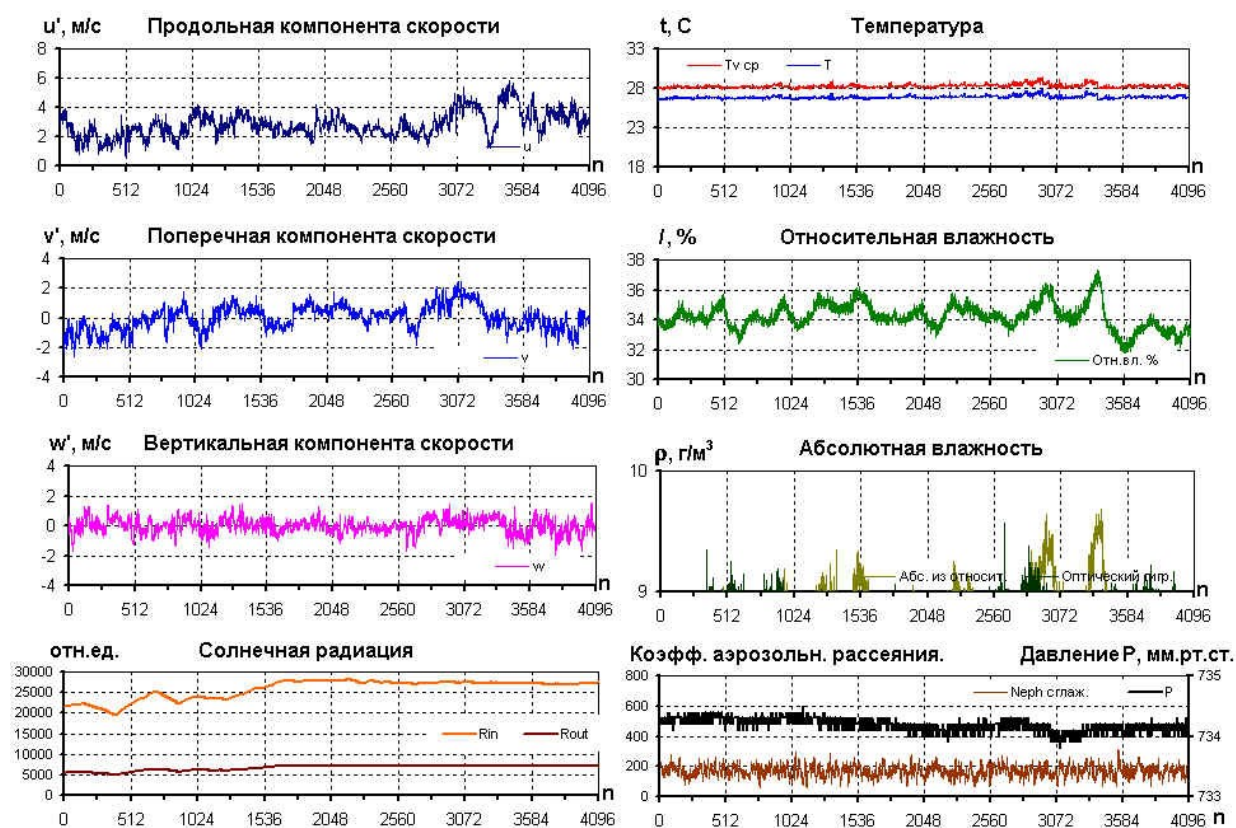


Рисунок 1 - Измеряемые пульсации метеопараметров

Рисунок 1 показывает пример записи пульсаций метеопараметров для продольной, поперечной, вертикальной скоростей, для относительной влажности, температуры, атмосферного давления, приходящей и уходящей солнечной радиации, и коэффициента

аэрозольного рассеяния. Много длительных серий измерений было получено. На приведенном рисунке по оси отложено 8192 точки, что соответствует 40 минутам. Температура измерялась акустическим способом с помощью метеостанции, при этом измерялась виртуальная температура, а также температура измерялась независимым диодным датчиком, и можно заметить, что кривые хорошо совпадают. На рисунке представлены кривые для измеренной относительной влажности, для измеренной абсолютной влажности (с помощью оптического гигрометра) и для рассчитанной абсолютной влажности (из относительной влажности, виртуальной температуры и давления). Для интерпретации длительных измерений полезно измерять солнечную радиацию, чтобы отслеживать разные ситуации.

Вертикальные турбулентные потоки импульса τ , тепла H_e и аэрозоля H_A определяются прямым методом из пульсационных наблюдений путем осреднения соответствующих произведений:

$$\tau = -\rho < u' w' > ,$$

$$H = c_p \rho < w' T' > ,$$

Здесь ρ - плотность воздуха; c_p - теплоемкость при постоянном давлении; u' - пульсационная составляющая продольной скорости ветра; w' - пульсация вертикальной скорости; T' - пульсационная составляющая температуры.

Впоследствии полученная информация подвергается более детальной статистической обработке. Рассчитываются с применением БПФ одномерные спектры флуктуаций для всех измеряемых параметров, а также взаимные спектры, спектры когерентности и фазы. Затем уже вычисляются авто и взаимные корреляционные функции.

Были проведены оценки суточных ходов для вертикальных турбулентных потоков явного и скрытого тепла, влаги, количества движения и аэрозоля в приземном слое атмосферы. Для каждой серии рассчитываются следующие статистические характеристики: для скорости ветра, температуры, абсолютной влажности и аэрозоля вычисляются средние значения, дисперсии, автоспектры, автокорреляционные функции, а также взаимные корреляционные функции, для временных рядов различных метеопараметров. Также вычисляются вертикальные турбулентные потоки количества движения, тепла и аэрозоля, а также масштаб скорости (скорость трения), масштаб температуры, масштаб Обухова.

На рисунке 2 приведены вертикальные турбулентные потоки, т.е. флуктуации потоков количества движения, тепла, потоков водяного пара и аэрозоля. В нашем примере данные приведены для короткой записи, осреднение осуществлялось по 2-х минутному интервалу.

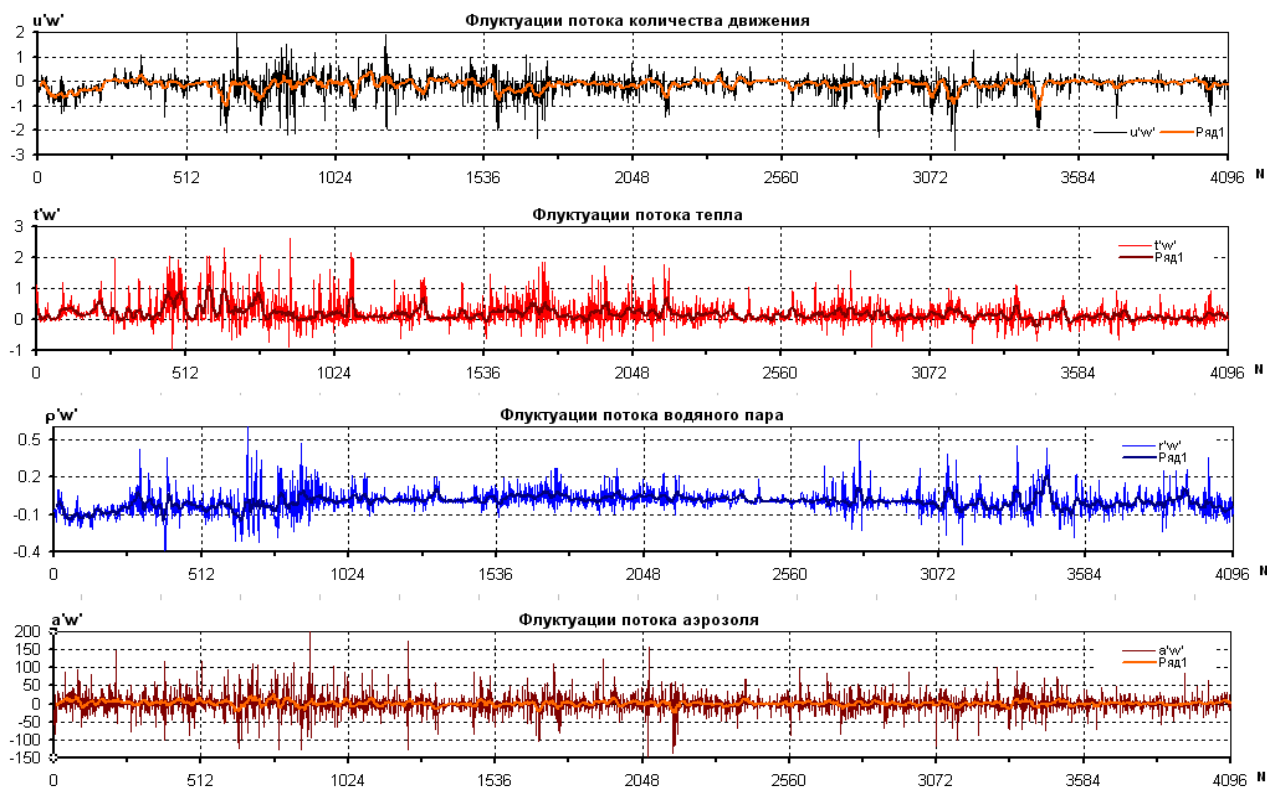


Рисунок 2 - Вертикальные турбулентные потоки

Следует подчеркнуть, что используемые методики регистрации и статистической обработки данных позволяют проводить исследование влияния выбора масштаба временного осреднения микропульсаций на поведение рассчитываемых характеристик, и сравнение результатов для одних и тех же реализаций для того, чтобы оптимизировать этот параметр в зависимости от характерных масштабов суточных и сезонных изменений.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

Литература

1. Монин А.С., Обухов А.М. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. 1954. №24. С.163-187.
2. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика // Ч. 1, М., Наука, 1965, 632 с. ; Ч. 2, М., Наука, 1967, 720 с.
3. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / Под ред. Ф. Т. М. Ньистада и Х. Ван Допа. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 352 с.
4. Бызова Н. Л., Иванов В. Н., Гаргер Е. К. Турбулентность в пограничном слое атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 263 с.
5. Афанасьев А. Л., Иванов А. П., Ростов А. П. Прибор для исследования приземных потоков тепла, влажности и аэрозольных частиц. // Тезисы докладов VIII Международного Симпозиума "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Иркутск. 2001. С. 196.