

С.Л. Одинцов, В.А. Федоров

Исследование вариаций скорости ветра мезометеорологического масштаба по содарным наблюдениям

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 6.08.2007 г.

Анализируются результаты дистанционного акустического зондирования скорости ветра в пограничном слое атмосферы. Рассмотрены спектры колебаний модуля горизонтальной скорости ветра мезометеорологического масштаба. С использованием цифровой полосовой фильтрации исследована статистика распределений скорости ветра в диапазоне периодов 20–250 мин, а также статистика значимых амплитуд колебаний на этих периодах. В анализ включены летние и зимние измерения. Раздельно рассмотрены дневные и ночные условия наблюдений. Для повышения надежности оценок амплитуд и периодов регулярных колебаний скорости ветра использованы «спектральные пороги достоверности», соответствующие выбранному уровню значимости. Выявлена определенная группировка основных периодов колебаний в некоторых интервалах времени.

Изучение процессов тепло- и газообмена в пограничном слое атмосферы играет важную роль при разработке методов и алгоритмов прогнозирования состояния окружающей среды. Одним из основных объектов исследований является поле скорости ветра. К настоящему времени достаточно подробно изучены движения атмосферы с характерными периодами изменений порядка суток, а также турбулентные составляющие, имеющие масштабы от нескольких минут и менее. Первоочередной интерес к этим областям обусловлен тем, что в них сосредоточена основная энергия движений атмосферы.

Промежуточная область — область мезометеорологического минимума в спектрах скорости атмосферных движений — исследована в значительно меньшей степени. Это отражается и в уравнениях, описывающих атмосферные динамические процессы, в которых поле скорости ветра представляют, как правило, в виде суммы некоторого среднего значения (часто — неизменного во времени) и турбулентной составляющей. Однако для задач мезометеорологического масштаба, когда требуется получить решение для интервалов времени от нескольких десятков минут до нескольких часов (от единиц до нескольких десятков километров), подобное разложение поля скорости ветра может оказаться не совсем корректным, поскольку существуют его регулярные вариации соизмеримого масштаба. В последние годы анализу таких процессов уделяется определенное внимание. Этому способствует, в частности, развитие дистанционных средств диагностики пограничного слоя атмосферы (ПСА), позволяющих восстанавливать профили вектора скорости ветра с высоким пространственно-временным разрешением.

С учетом актуальности данной проблемы основными целями работы являлись анализ спектрального

состава модуля горизонтальной скорости ветра V_m (далее по тексту — просто скорости ветра) на различных уровнях ПСА, выявление и систематизация значимых по величине пиков спектров в диапазоне периодов от десятков до нескольких сотен минут при устойчивой и неустойчивой стратификации в летних и зимних условиях. Для анализа использовались результаты измерений скорости ветра содаром Института оптики атмосферы СО РАН в пригороде Томска (Академгородок).

Оценка спектрального состава скорости ветра на основе дистанционного акустического зондирования имеет определенные особенности, которые связаны с присущей доплеровскому содару конечностью пространственно-временного разрешения.

Во-первых, содарная технология получения информации о профилях вектора ветра использует комбинирование его проекций на направления зондирования тремя разнонаправленными антеннами (одна из которых обычно ориентирована вертикально). Разнос положения объемов атмосферы, из которых содар получает сигналы по разным каналам (антеннам), в горизонтальной плоскости может составлять десятки и сотни метров в зависимости от высоты измерения, т.е. компоненты вектора ветра определяются не в одной точке пространства. Следовательно, имеет место некоторая пространственная фильтрация составляющих вектора ветра.

Во-вторых, существенную роль играет конечность объема атмосферы, из которого в каждый момент времени приходят сигналы. Продольные размеры этого объема зависят от длительности зондирующего импульса и могут составлять десятки метров. Поперечные размеры связаны с шириной диаграммы направленности антенн содара и увеличиваются с высотой, достигая нескольких сотен метров на больших

дальностях. По этой причине доплеровский сдвиг частоты принимаемых сигналов обусловлен некоторым средним движением достаточно большого объема атмосферы, из которого приходит сигнал, т.е. реализуется «объемный» фильтр низких частот.

В-третьих, обычно для измерений используются содары (содар ИОА СО РАН в том числе), работающие в режиме поочередного излучения/приема сигналов разными антеннами. Совокупный период работы трех измерительных каналов для получения одного «мгновенного» профиля вектора ветра составляет $\Delta t = 12 \div 15$ с, что адекватно временному фильтру низких частот. С учетом перечисленных выше причин анализ спектров скорости ветра проводился нами для периодов колебаний, превышающих 20 мин, на которые, как мы полагаем, уже не влияют особенности технологии получения данных.

Для выделения регулярных частотных компонентов колебаний скорости ветра из общей случайной смеси V_m (включающей и измерительные ошибки) нами использовался подход, описанный в [1]. Его суть заключается в нахождении пиков несглаженного спектра мощности исследуемой выборки, превышающих некоторое пороговое значение G_q , соответствующее выбранному уровню значимости q . В данной работе для более ясной интерпретации значимых спектральных пиков скорости ветра и величин новых спектральных порогов A_q использованы оценки амплитудных спектров для гармоник $f_k = k/N\Delta t$:

$$A(f_k) = \left| \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} V_m(n\Delta t) \exp(-j2\pi kn/N) \right|,$$

где в общем случае $k = 0, 1, \dots, N/2$, N — число отсчетов обрабатываемой реализации $V_m(n\Delta t)$. При этом величины значимых $A(f_k)$ примерно соответствуют амплитудам обычных гармонических колебаний.

Найдем величину порога A_q , предполагая, что $V_m(n\Delta t)$ — дискретный белый шум с дисперсией σ^2 . Тогда, используя результаты [2], можно показать, что при используемых нами $N > 1000$ отсчеты $A(f_k)$ для $k = 1, 2, \dots, N/2 - 1$ являются рэлеевскими случайными величинами независимо от вида исходного распределения V_m и имеют функцию распределения $F_1(z) = 1 - \exp(-z^2 N/4\sigma^2)$, $z > 0$. А вероятность того, что все независимые $A(f_k)$, $k = 1, 2, \dots, N/2 - 1$, не превосходят некоторую величину z , равна $F_\Sigma(z) = [1 - \exp(-z^2 N/4\sigma^2)]^{N/2-1}$. Следовательно, вероятность того, что хотя бы один отсчет амплитудного спектра белого шума $A(f_k)$ превзойдет величину z , определяется выражением $Q(z) = 1 - F_\Sigma(z)$. Решая уравнение $Q(A_q) = q$, где A_q — порог обнаружения регулярной компоненты в смеси $V_m(n\Delta t)$, соответствующий уровню значимости q , получаем

$$A_q = 2\sigma \sqrt{-\ln[1 - (1 - q)^{2/(N-2)}]} / N.$$

При этом величину σ для используемого значения $N > 1000$ можно заменить выборочным стандартным отклонением реализации $V_m(n\Delta t)$ [1].

Таким образом, те отсчеты амплитудных спектров, для которых выполняется $A(f_k) > A_q$, с веро-

ятностью $1 - q$ могут считаться спектральными пиками соответствующих регулярных колебаний скорости ветра V_m , а не его флуктуаций. В качестве величины q принято значение $q = 0,01$. Для устранения искажающего влияния низкочастотных трендов (например, суточного хода V_m) на спектральную область анализируемых периодов необходимо проведение высокочастотной фильтрации. Это достигается использованием синтезированных дискретных фильтров с конечной импульсной характеристикой [3]. При этом для исключения переходных эффектов при фильтрации данных анализируемая временная область начинается с отсчета $n = M_2/2$, где M_2 — полудлина импульсной характеристики. В дальнейшем для большей наглядности мы переходим от частот f_k к соответствующим периодам колебаний p .

Проведенное нами исследование колебаний V_m ограничивалось максимальным периодом порядка 4 ч (использовались цифровые фильтры с полосой пропускания $\Delta p = 20 \div 250$ мин по уровню половинной мощности при $M_2 = 1000$). Основным анализ проводился для высоты 130 м (одна из дискретных высот измерений). Эта высота была выбрана исходя из следующих соображений: а) в отобранных для анализа эпизодах обеспечивалась непрерывность оценок скорости ветра на данной высоте (на больших высотах в ряде эпизодов не всегда имелись сигналы содара, особенно в ночное время), б) на этом уровне уже слабо сказывается влияние шероховатости подстилающей поверхности (орографии, растительности и построек), в) гарантировалось отсутствие сигналов, отраженных от местных предметов (близлежащих зданий), способных внести искажения в оценки скорости ветра.

При анализе спектров колебаний ветра в летний период учитывалось, что в антициклональных условиях имеются два интервала времени с относительно стационарными условиями в ПСА. Первый интервал отвечает устойчивой стратификации и реализуется в ночное время. Второй интервал связан с конвекцией в дневное время. Длительность этих интервалов составляет 8–10 ч. Структура ПСА и процессы в нем при разной стратификации заметно различаются. Поэтому был проведен сопоставительный анализ ситуаций «день» и «ночь». Всего в обработку вошло 137 эпизодов (июнь–июль разных лет; высота 130 м; 65 эпизодов для дневного времени с общей длительностью около 700 ч и 72 эпизода в ночной период с общей длительностью около 810 ч). Анализ показал, что летним днем из 65 обработанных эпизодов лишь в 45 спектральные амплитуды превосходили свои пороги A_q , что составляет примерно 70% от всех случаев. Для ночного летнего времени такое превышение наблюдалось примерно в 76% эпизодов (55 из 72).

Зимой профили температуры, определяющие тип стратификации ПСА, в месте наблюдений не всегда строго соответствуют времени суток. Кроме того, срок солнечной освещенности подстилающей поверхности в декабре и январе составляет для Томска 6–8 ч, поэтому разделение зимних эпизодов на «день» и «ночь» носит в определенной мере условный характер.

Всего в зимний период анализу подверглось 96 эпизодов (декабрь–январь разных лет; высота 130 м; 43 эпизода в дневное время с общей длительностью 416 ч и 53 эпизода в ночное время с общей длительностью около 600 ч). Зимним днем колебания значимой амплитуды наблюдались примерно в 72% эпизодов (31 из 43), а зимней ночью лишь в 62% (33 эпизода из 53), т.е. зимней ночью реже встречаются колебания с амплитудами выше «спектрального порога достоверности» A_q среди всех рассмотренных ситуаций.

Основной задачей проведенной работы являлась систематизация значимых периодов и амплитуд колебаний скорости ветра. В вычисленных спектрах выбирались все пики, превышающие порог A_q . При этом основным периодом колебаний считался тот, спектральная амплитуда которого $A(p)$ превосходила в рассмотренном эпизоде все остальные. Пример спектров и соответствующих им исходных и отфильтрованных в полосе 20–250 мин временных разверток скорости ветра V_m приведен на рис. 1. В частности, на рис. 1, б представлен спектр, в котором помимо основного периода со значением 30 мин и спектральной амплитудой 0,48 м/с порог $A_q = 0,35$ м/с пре-

вышают еще два пика. С другой стороны, на рис. 1, г показан спектр, в котором хорошо выражено несколько пиков. Однако ни один из них не превышает порог $A_q = 0,47$ м/с. Такие спектры из дальнейшего анализа исключались.

Основой для систематизации послужила гистограммная технология, т.е. оценка частоты попадания в процентах периодов (или спектральных амплитуд) в тот или иной временной интервал (или интервал амплитуд). При построении гистограмм периодов колебаний был выбран шаг 20 мин. Такой интервал оказался нам наиболее оптимальным, поскольку он, с одной стороны, сглаживал возможные случайные смещения положений пиков в спектре, а с другой – обеспечивал достаточно хорошее разрешение для анализа процессов различного масштаба. Шаг гистограмм спектральных амплитуд составлял 0,1 м/с. Указанные характеристики на представленных ниже рисунках отображаются в так называемом полигонном виде, т.е. середины верхних оснований каждого столбца гистограммы соединяются прямыми линиями. Такое представление используется на практике из-за большей наглядности исследуемых форм распределений по сравнению с обычным гистограммным.

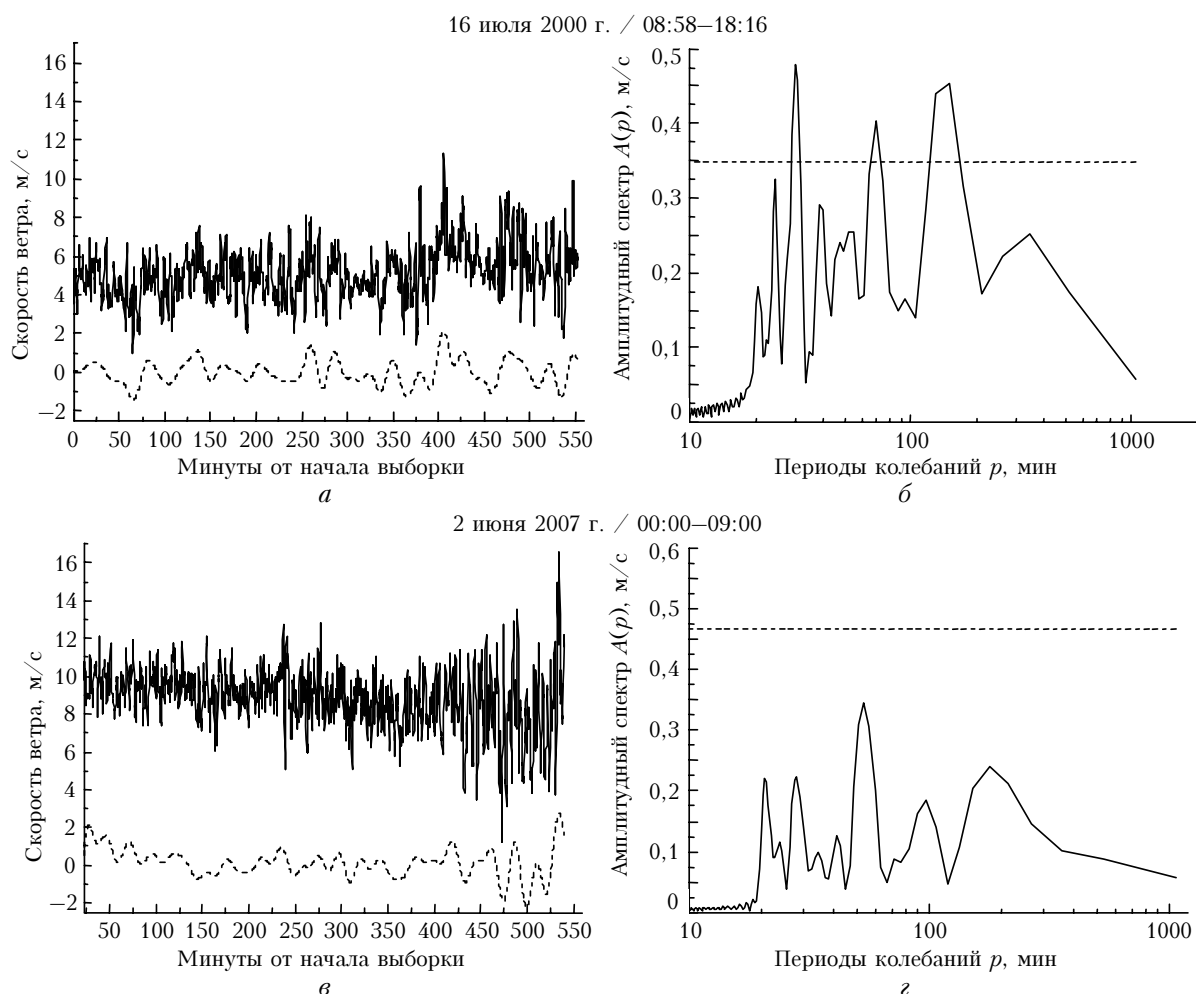


Рис. 1. Примеры исходных выборок модуля горизонтальной скорости ветра V_m (сплошные линии – а, в) на высоте 130 м и результаты их фильтрации в полосе 20–250 мин (штриховые – а, в), амплитудные спектры отфильтрованных выборок (сплошные линии – б, г) с указанием «спектрального порога» A_q (штриховая линия)

Анализ периодов колебаний для высоты 130 м

Прежде чем приступить к изложению результатов систематизации периодов колебаний, рассмотрим статистику амплитудных порогов A_q , поскольку они являются основой для выбора периодов значимых колебаний. Анализ гистограмм порогов показал, что в большинстве случаев они имеют значения 0,2–0,7 м/с (рис. 2) с максимумами частоты попадания в диапазоне 0,3–0,5 м/с.

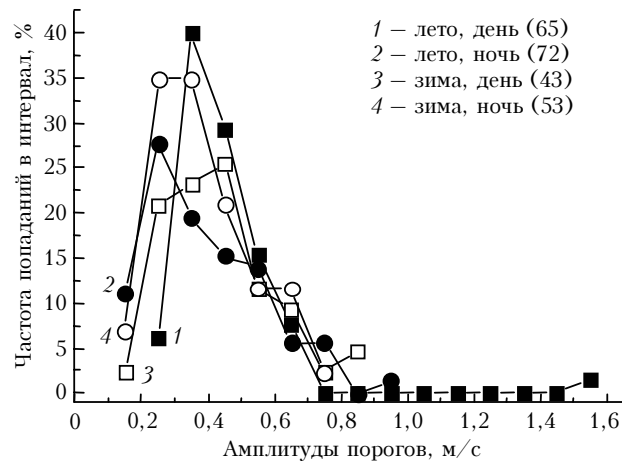


Рис. 2. Гистограммы порогов A_q на высоте 130 м для зимы и лета, дня и ночи (полигонное представление). В скобках указано общее число выборок, участвовавших в обработке

При этом есть некоторое смещение между дневным интервалом наблюдений и ночным. Это касается как лета, так и зимы. Днем пороги несколько выше, чем ночью. По-видимому, это объясняется более высоким уровнем окружающего акустического шума днем, чем ночью. Напомним, что шум влияет на качество получаемых содаром оценок скорости ветра и, следовательно, на величину «спектрального порога» A_q .

Рассмотрим результаты анализа *основных периодов колебаний* скорости ветра (далее они обозначаются как p_0). Эти результаты представлены на рис. 3, а.

В летнее дневное время значительная часть p_0 сосредоточена в области 20–60 мин (кривая 1). На нее приходится в сумме до 47% случаев. Можно выделить еще две области, где происходит заметная группировка значений p_0 . Это диапазон 80–120 мин, содержащий порядка 28% случаев, и 140–180 мин, на который приходится до 14% от всего числа p_0 . В отличие от дневного времени, летней ночью основные колебания скорости ветра чаще всего происходят с периодами от 80 мин и более. На этот диапазон приходится около 75% случаев (кривая 2). При этом так же, как и днем, акцентированно выделяются диапазоны 80–120 мин (в сумме до 36% случаев) и 140–180 мин (в сумме порядка 33% случаев). Подавление диапазона 20–60 мин летней ночью связано, по-видимому, с влиянием ночной температурной инверсии – слоем атмосферы с сильно устойчивой

стратификацией. Это подтверждает и анализ периодов p_0 в зимнее время, когда устойчивая стратификация наблюдается в г. Томске не только ночью, но часто встречается и днем.

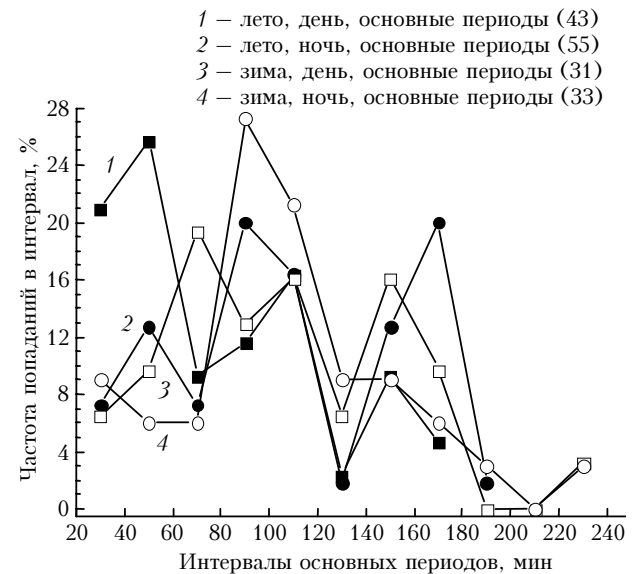


Рис. 3. Гистограммы периодов колебаний: а – периоды основных колебаний; б – все периоды, амплитуда которых превышает порог A_q . В скобках указано количество пиков, вошедших в анализ

Согласно рис. 3, а зимним днем основные периоды колебаний сосредоточены в интервале 40–180 мин. На него в сумме приходится до 90% случаев (кривая 3). В этом интервале зимой так же, как и летом, можно с определенной долей уверенности выделить диапазоны 80–120 мин (в сумме около 30%) и 140–180 мин (в сумме порядка 25%). Необходимо отметить и узкий диапазон 60–80 мин, содержащий около 20% случаев. Наличие повышенной повторяемости основных колебаний скорости ветра в этом диапазоне периодов является отличительной особенностью зимних дневных условий. Что касается зимней ночи, то в этом случае гистограмма основных периодов колебаний демонстрирует явное преобладание

диапазона 80–120 мин (кривая 4). На него приходится до половины всех событий. В остальных диапазонах частота появления p_0 не превышает 6–9%.

Суммируя результаты анализа, можно сделать вывод, что отчетливо выделяются диапазоны 20–40, 80–120 и 140–180 мин, в которые чаще всего попадают основные колебания скорости ветра. При этом диапазон 20–40 мин явно связан с типом стратификации ПСА, поскольку он «насыщается» периодами p_0 только летним днем, когда реализуется сильная неустойчивость в нижней части ПСА.

Следует отметить, что небольшие частоты попадания периодов p_0 в диапазон 20–40 мин в условиях устойчивой стратификации еще не означают, что с такими периодами вообще мало колебаний. Это лишь свидетельствует о том, что колебания скорости ветра с *наибольшими* средними амплитудами происходят в более «медленных» областях спектра. В целом же диапазон 20–40 мин остается насыщенным другими колебаниями, спектральная амплитуда которых выше порога, но меньше главного максимума. Это демонстрирует рис. 3, б, на котором показаны гистограммы всех периодов, превышающих порог A_q (включая основные периоды p_0). Учет всех колебаний с амплитудами выше порога помимо насыщения диапазона 40–60 мин заметно маскирует диапазон 80–120 мин. Его акцентированность заметно ослабевает. В то же время диапазон 140–180 мин продолжает оставаться явно выделенным (за исключением случая зимней ночи).

Анализ амплитуд колебаний для высоты 130 м

Днем в летнее время максимумы спектральных амплитуд основных периодов колебаний $A(p_0)$ сосредоточены на интервале 0,3–0,7 м/с. На него приходится почти 75% случаев. В целом же $A(p_0)$ не превосходили 1,6 м/с. В ночное летнее время диапазон $A(p_0)$ несколько шире: 0,2–1,0 м/с. На него приходится до 90% всех случаев. При этом максимальные значения $A(p_0)$ достигали ночью 2,1 м/с, заметно превышая дневные максимумы, хотя их общее количество и невелико. Иллюстрацией приведенной статистики служат гистограммы на рис. 4, а.

На этом же рисунке приведены результаты для зимних условий. Днем в зимнее время амплитуды основных периодов $A(p_0)$ сосредоточены на интервале 0,2–0,7 м/с. В нем группируется до 70% реализаций. При этом максимальные значения $A(p_0)$ достигают 2,4 м/с. Следует отметить некоторые особенности гистограммы (кривая 3 на рис. 4, а). Имеются два хорошо акцентированных диапазона амплитуд: 0,2–0,4 и 0,5–0,7 м/с. Именно в них чаще всего попадали амплитуды (32 и 30% соответственно). Кроме этого группировка амплитуд наблюдается и в диапазоне 0,9–1,1 м/с, хотя на него приходится и не очень большое количество случаев (до 13%). Аналогично ведет себя гистограмма для случая ночного зимнего времени (кривая 4 на рис. 4, а). Здесь также наблюдается ее «фрагментация» в указанных диапа-

зонах. Можно также отметить, что зимней ночью колебания, превышающие по амплитуде 0,8 м/с, имеют несколько больший «удельный» вес, чем зимним днем. Однако максимальные значения $A(p_0)$ ночью, как и днем, не превышают 2,4 м/с.

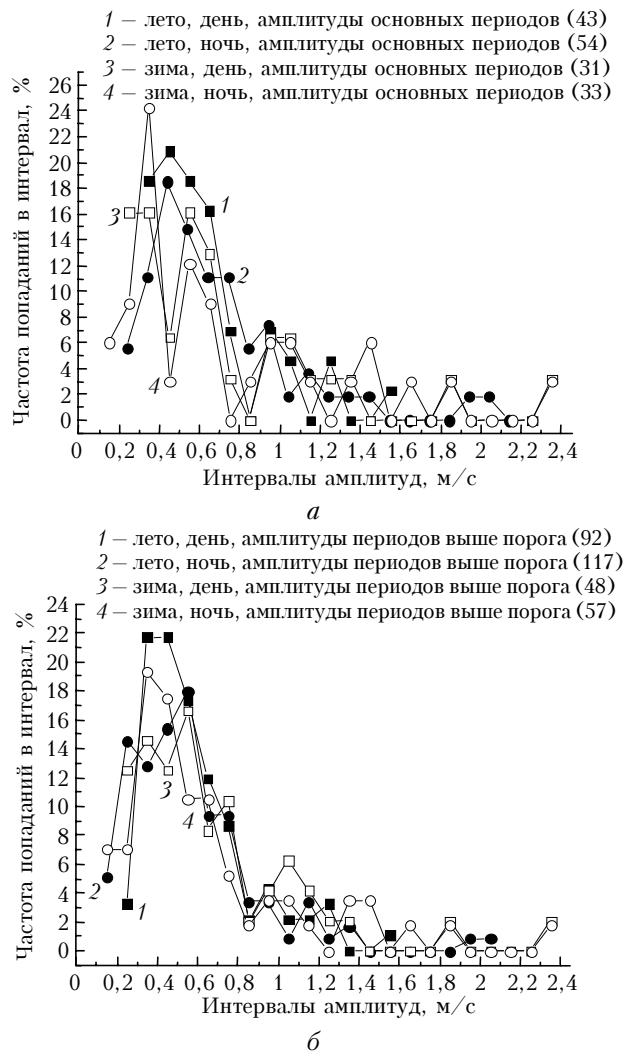


Рис. 4. Гистограммы амплитуд колебаний: а — амплитуды основных колебаний; б — все амплитуды, превышающие порог A_q . В скобках указано количество пиков, вошедших в анализ

Суммируя результаты анализа, можно сделать вывод, что значительное большинство колебаний модуля горизонтальной скорости ветра на основных периодах происходит со спектральными амплитудами 0,2–0,7 м/с во все времена года и в любое время суток. Однако имеются и определенные различия. В частности, зимой более часто встречаются колебания скорости ветра со значительной амплитудой. Кроме того, в зимнее время гистограммы амплитуд колебаний имеют достаточно «тонкую» структуру, выражающуюся в формировании отдельных диапазонов, где в основном группируются колебания.

Включение в анализ всех амплитуд, превышающих «спектральный порог» A_q , заметно насыщает диапазон амплитуд 0,2–0,7 м/с и расширяет его до

уровня 0,8 м/с (рис. 4, б). Так, в пределах этого уровня летом (как днем, так и ночью) содержится примерно 85% случаев. Зимой в дневное время около 65% амплитуд не превосходят этот уровень, а зимней ночью — 77%. Учет дополнительных колебаний скорости ветра приводит также к тому, что отмеченная выше «тонкая» структура гистограмм в зимнее время существенно сглаживается и уже не так четко акцентированы диапазоны 0,2–0,4 и 0,5–0,7 м/с.

Узкополосная фильтрация колебаний на высоте 130 м

С помощью узкополосной цифровой фильтрации, выделяющей из всего спектра только ту область, которая содержит интересующий период колебаний, была исследована согласованность появления во времени различных гармоник в спектрах. Установлено, что различные периоды колебаний могут появляться как одновременно, так и чередоваться на интервале наблюдений. Каких-либо явных закономерностей в порядке их появления и чередования нами не обнаружено. Это касается как зимних, так и летних эпизодов. Пример результатов полосовой фильтрации (ПФ) колебаний в разных полосах спектра, полученный по суточному интервалу наблюдений 14 июня 2007 г. на высоте 130 м, приведен на рис. 5.

В данном случае имеется достаточно большое количество колебаний, превосходящих порог A_q . При этом наибольшие амплитуды колебаний реализуются во второй половине дня. В других эпизодах или на других высотах интервалы времени с большими колебаниями модуля скорости ветра могут быть иными. Следует также отметить, что в случае продолжительных (в течение нескольких суток) стационарных метеорологических условий в спектрах модуля горизонтальной скорости ветра хорошо выражен суточный пик.

Сопоставление спектров колебаний на разных высотах

Помимо анализа характеристик скорости ветра на высоте 130 м проведено сопоставление спектров на разных высотах. Результаты приводят к выводу, что с изменением высоты спектры колебаний могут меняться, но положения основных и большинства значимых пиков, как правило, совпадают. Интерес представляет оценка синхронности колебаний скорости ветра на разных высотах. Для анализа была применена узкополосная цифровая фильтрация исходных выборок. На рис. 6, а, б представлены спектры скорости ветра примерно одного типа в разные дни для высот 100, 130 и 160 м, но имеющие разную согласованность колебаний скорости ветра на разных высотах. Так, на рис. 6, б показаны отклонения скорости ветра от среднего значения в полосе 55–85 мин. Очевидна высокая синфазность изменений скорости в данной полосе на всех высотах и практически на всем интервале наблюдений. Иная ситуация наблюдается на рис. 6, г, где представлены результаты

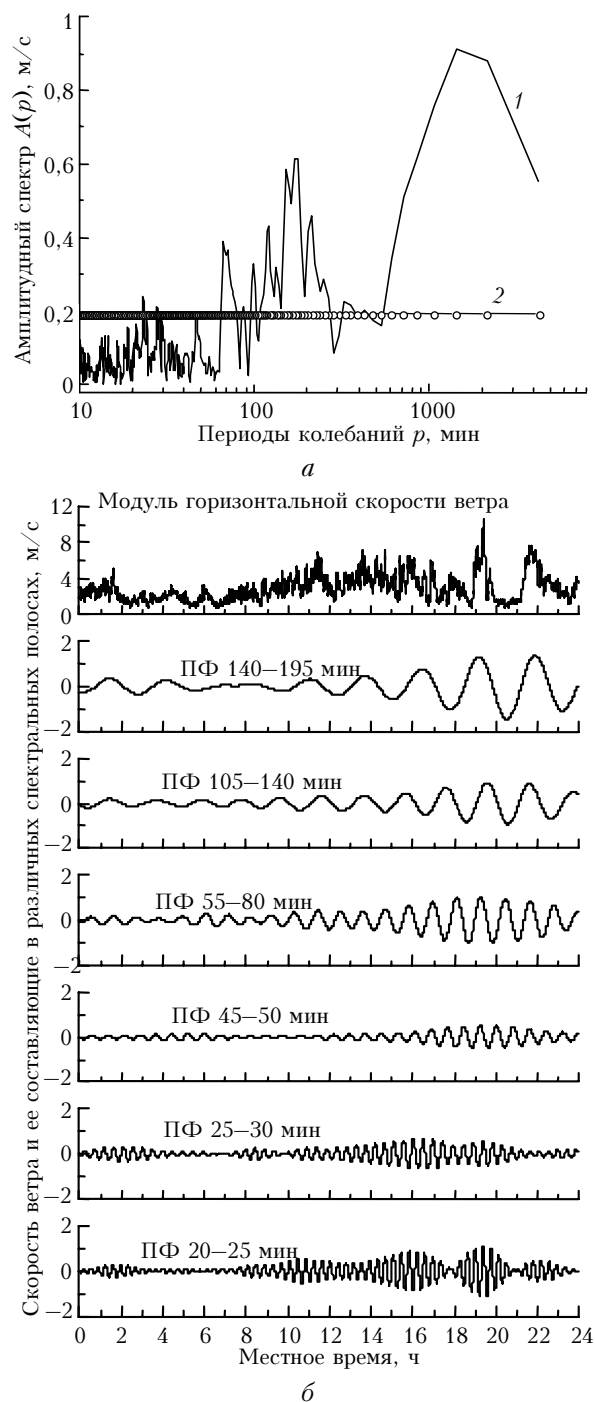
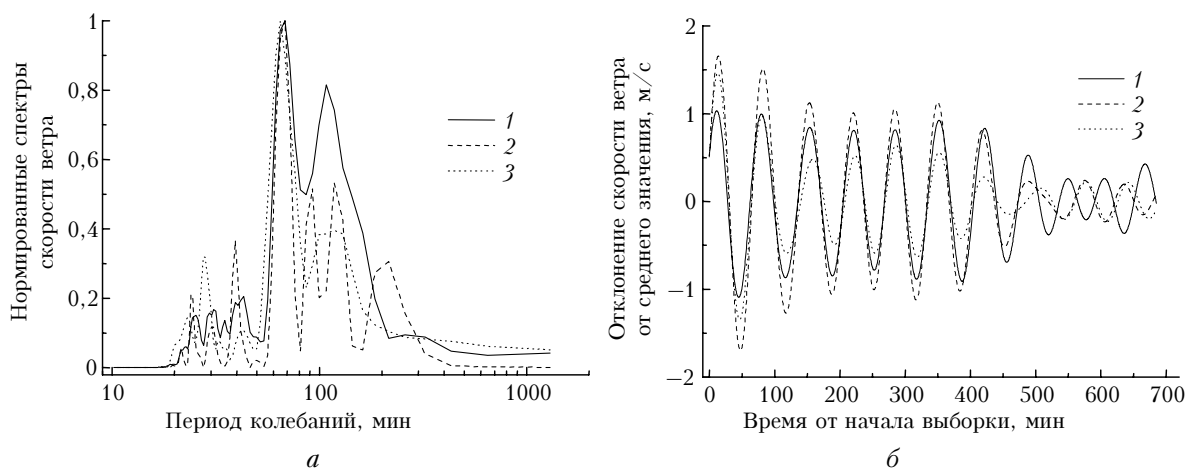


Рис. 5. Амплитудный спектр модуля (1) горизонтальной скорости ветра на высоте 130 м, полученный 14 июня 2007 г. (00:00–24:00) (а), и результаты цифровой полосовой фильтрации скорости в нескольких диапазонах спектра (б); 2 — «спектральный порог» A_q (0,19 м/с)

фильтрации ветра в полосе 85–140 мин для другого эпизода. В данном случае имеет место сдвиг по фазе колебаний на разных высотах. Подобные ситуации наблюдались и в других случаях, когда одна и та же мода колебаний на разных высотах существенно отличается по амплитуде и имеет фазовый сдвиг, достигающий до 180° . Это реализуется как зимой, так и летом, как в дневное, так и в ночное время.

11 июля 2004 г. 9:45–21:23



22 июля 2004 г. 10:11–20:49

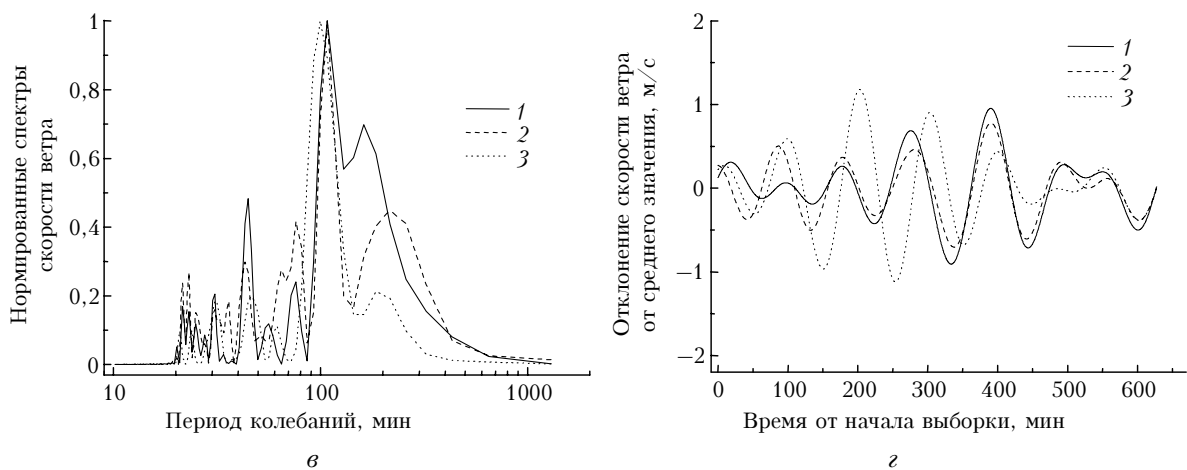


Рис. 6. Нормированные спектры модуля горизонтальной скорости ветра в летний период (*а, в*), полученные с применением цифровой фильтрации в полосе 20–250 мин, и результаты узкополосной фильтрации исходных выборок скорости (*б, г*). Спектры скорости ветра (*а*) и результаты ее фильтрации (*б*) в полосе 55–85 мин на высотах: 1 – 100, 2 – 130, 3 – 160 м; спектры скорости ветра (*в*) и результаты ее фильтрации (*г*) в полосе 85–140 мин на тех же высотах

Заклучение

По результатам спектрального анализа модуля горизонтальной скорости ветра в пределах пограничного слоя атмосферы можно сделать следующие выводы:

- изменения скорости ветра в ПСА могут иметь значимые по амплитуде периодические составляющие мезометеорологического масштаба; это наблюдается как в летний, так и в зимний периоды, в любое время суток, при устойчивой и неустойчивой стратификации;

- в спектрах колебаний скорости ветра на основных гармониках мезометеорологического масштаба отчетливо выделяются диапазоны 20–40, 80–120 и 140–180 мин, в которые чаще всего попадают основные колебания скорости ветра; при этом диапазон 20–40 мин явно связан с типом стратификации ПСА, поскольку он «насыщается» только летним днем, когда реализуется сильная неустойчивость в нижней части ПСА;

- колебания скорости ветра на основных периодах чаще всего происходят со спектральными амплитудами 0,2–0,7 м/с во все времена года и в любое время суток; при этом зимой более часто встречаются колебания со значительной амплитудой;

- при наличии в спектрах нескольких сопоставимых по амплитуде гармоник мезометеорологического масштаба соответствующие им вариации скорости ветра могут происходить как одновременно, так и в разные интервалы времени;

- с изменением высоты спектры колебаний могут меняться, но положение основных и большинства значимых пиков, как правило, совпадает; при этом на разных высотах колебания могут происходить как синфазно, так и со значительным сдвигом фаз.

Сделанные выводы относятся к измерениям, проведенным в пригороде Томска. Возможно, для других пунктов наблюдений характерные особенности спектров скорости ветра мезометеорологического масштаба могут быть иными.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 16.1 Президиума РАН «Комплексное исследование аэрозольных и газовых компонентов Сибири...» и проекта № 2.12.1 ОФН РАН и «Акустические и оптические технологии изучения атмосферных процессов».

1. *Витязев В.В.* Спектрально-корреляционный анализ равномерных временных рядов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. 48 с.
2. *Дженкинс Г., Ваттс Д.* Спектральный анализ и его приложения. Т. 1. М.: Мир, 1971. 320 с.
3. *Рабинер Л., Голд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978. 848 с.

S.L. Odintsov, V.A. Fedorov. **Investigation of wind velocity variations of mesometeorologic scale from the sodar observations.**

The results of remote acoustic sensing of the wind velocity in the boundary atmospheric layer are under analysis. Vibration spectra of the horizontal wind velocity modulus of mesometeorologic scale are considered. Statistics of the wind velocity distributions in the range of periods 20–250 min, as well as statistics of meaningful vibration amplitudes at these periods have been studied using the numerical band filtration. Both summer and winter measurements were included into the analysis. To increase the reliability of estimates of the amplitudes and periods of wind velocity regular vibrations, the «spectral reliability thresholds» corresponding to the chosen level of meaningfulness, were used. A definite group of basic vibration periods in some time intervals has been found.