

## СВЯЗЬ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ МЕГАПОЛИСА

### Введение

Реальные условия жизнедеятельности человека на Земле определяются существованием физических полей различного типа, таких как акустическое, температурное, влажностное, ветровое, барическое (поле атмосферного давления), гравитационное, геомагнитное, микросейсмическое, электростатическое, электромагнитное, ионное, радиационное ионизирующее излучение и некоторые другие виды полей.

Влияние каждого из существующих видов полей на состояние биосферы в полной мере еще не изучено, поэтому одной из основных задач экологии является исследование и разработка моделей, которые описывают влияния внешней среды на состояние и жизнеспособность биообъектов.

На протяжении миллионов лет биосфера Земли приспосабливалась к существованию физических полей и к их естественным ритмам как к своей естественной среде обитания. Однако в связи с тем, что в последнем столетии отмечался интенсивный рост числа и площади городов (мест наиболее плотного проживания людей), численности человечества, развивалось техническое производство, транспорт, наблюдалась и наблюдается тенденция к глобальному изменению климата планеты, изучение влияния физических полей на биосферу и, в частности, на состояние функциональных систем организма человека становится одной из актуальнейших проблем современности.

Между полями разной физической природы существует тесная связь и взаимодействие. Поэтому выделить какое-то одно поле из всех известных как наиболее влияющее на состояние и жизнеспособность биообъектов было бы неверно. В этом отношении можно классифицировать поля по признаку непосредственного и опосредованного влияния на организм человека. Например, ветровое и температурное поле человек ощущает непосредственно, а поле атмосферного давления органами чувств непосредственно не определяется. Однако его влияние, особенно влияние его флуктуаций и микрофлуктуаций, существенно отражается на состоянии функциональных систем организма человека [1 – 3], то есть воспринимается опосредованно.

Источником пульсаций атмосферного давления в зоне мегаполиса может быть процесс расщепления основного ветрового потока элементами инфраструктуры города и специфическое поле температуры, которое формируется в результате сжигания топлива и в результате различных тепловых свойств подстилающей поверхности: газоны, парки, тротуары, дорожное покрытие, а также и элементами инфраструктуры: стены и крыши домов, промышленные сооружения. Указанные объекты различаются свойствами поглощения, отражения и излучения тепла и, таким образом, создают значительные тепловые контрасты, которые обуславливают «взрывной» характер тепловой конвекции, в результате предположительно возникают локальные пульсации атмосферного давления.

Таким образом, можно предположить, что возникновение пульсаций атмосферного давления обусловлено режимом атмосферной турбулентности в поле температуры, создаваемой, в частности, собственно структурой мегаполиса.

Режим атмосферной турбулентности, как известно, существенно влияет и на эффективность функционирования каналов связи. Задачи исследований в этой области и их прикладное значение определены в работе [4].

**Цель работы** состоит в проверке выдвинутой гипотезы, которая состоит в том, что в условиях развитой спонтанной конвекции при хорошо прогретой подстилающей поверхности и элементов инфраструктуры мегаполиса в процессе формирования турбулентного поля как некоторой индивидуальности поля температуры, на которую действуют силы плавуче-

сти, генерируется импульс атмосферного давления (микробаром). Важными параметрами при этом являются значения характерных периодов всплесков давления и продолжительности их отдельных импульсов как факторов, которые влияют на состояние функциональных систем организма человека.

В настоящем исследовании для получения информации о режиме турбулентности используется метод акустического зондирования атмосферы [5 – 8], а для регистрации пульсаций атмосферного давления – специально разработанное устройство.

Поставленная цель достигается сопоставлением результатов прямого измерения микропульсаций атмосферного давления и записей эхосигналов акустического зондирования.

Анализ данных акустического зондирования имеет целью получение информации о типе турбулентного режима в приземном слое атмосферы и, в частности, о возникновении термодинамических возмущений в виде спонтанной контактной конвекции, а также о частоте и продолжительности этих возмущений.



Рис. 1

### Условия проведения экспериментов и аппаратура

Эксперименты по синхронному активному и пассивному акустическому зондированию атмосферы проводились регулярно на станции акустического зондирования, установленной на территории ХНУРЭ. Внешний вид антенных систем станции приведен на рис.1.

В процессе экспериментальных наблюдений осуществлялась запись эхосигналов акустического зондирования атмосферы и пульсаций атмосферного давления приемником акустического давления (пассивное зондирование).

Зондирование атмосферы акустическим локатором проводилось сеансами продолжительностью в один час. В течение суток регистрировались данные от 5 до 7 сеансов в зависимости от погодных условий. В результате каждого сеанса зондирования формировалась  $(m \times n)$  матрица  $U_a$  цифровых отсчетов эхосигналов  $u_{i,j}$ , где  $i=1..m$ ,  $j=1..n$ , причем столбцы матрицы представляют собой вертикальные одиночные профили эхосигналов  $u_j(i)$  и, следовательно, каждая строка  $u_i(j)$  матрицы  $U_a$  представляет собой ряд дискретных отсчетов эхосигналов для данной высоты  $h = \Delta h \cdot i$ , где  $\Delta h$  – дискретный шаг высоты,  $\Delta h = c \cdot \tau_u \cdot 0,5$ , где  $c = 20,067\sqrt{273+t_g}$  – скорость распространения звуковых волн,  $t_g$  – температура воздуха  $^{\circ}C$ ,  $\tau_u$  – длительность зондирующего импульса.

Если положить  $\tau_u = const$ , что, как это следует из литературных источников, принимается большинством авторов, то получим  $\Delta h = \frac{c\tau_u}{2} = f(t_g)$ .

При этом удобно принять  $m = const$ , тогда максимальная высота зондирования  $h_{max} = m \cdot \Delta h = f(t_g)$ , где  $T_u$  – период повторения зондирующих импульсов, то есть разрешающая способность по высоте и максимальная высота зондирования есть функции температуры воздуха. Зависимость  $h_{max}(t_g)$  для практики зондирования не критична. Однако

зависимость  $\Delta h(t_g)$  усложняет сопоставление результатов экспериментальных наблюдений, выполненных при различной температуре воздуха. Поэтому примем

$$\Delta h = const = 0,5 м, \text{ и } T_u = const = 1 с. \quad (1)$$

Тогда  $\tau_u = \frac{2 \cdot \Delta h}{(20,05 \sqrt{273+t_g})}$  и  $h_{max} = 0,5 T_u \cdot (20,05 \sqrt{273+t_g})$ , откуда

$$m = h_{max} / \Delta h = 0,5 T_u \cdot (20,05 \sqrt{273+t_g}) / \Delta h, \quad (2)$$

то есть в этом случае число  $m = f(t_g)$  дискретных отсчетов профиля сигнала является функцией температуры воздуха при постоянной разрешающей способности и максимальной высоте зондирования. Для обеспечения этого условия в процессе экспериментов значение температуры воздуха  $t_g$  вводится программно в начале каждого сеанса зондирования. Тогда, с учетом (1) и (2), например, при  $t_g = 27^\circ C$ , что характерно для середины летнего дня, округляя до ближайшего целого, получим  $m = 347$ , и  $\tau = 2,9 \cdot 10^{-3} с$ .

Следовательно, за время длительности сеанса зондирования (1 час) получим  $n = 3600$  одиночных профилей эхо-сигнала,  $m = 347$  – число дискретных отсчетов в одиночном профиле эхосигнала.

*Регистрация пульсаций атмосферного давления* (пассивное зондирование) осуществлялась с помощью первичного электроакустического преобразователя электродинамического типа, включенного как датчик давления (с заглушенным тылом). Чувствительность  $s_a$  датчика составляет  $s_a = 0,5 \cdot 10^{-3} в/Па$ . Частотный диапазон  $\Delta F_a = F_{ав} - F_{ан}$  датчика давления  $\Delta F_a = (5 \div 15) Гц$ . Снизу частотный диапазон ограничивается принципом действия первичного преобразователя. Сверху частотный диапазон ограничивается фильтром нижних частот, который входит в схему предварительного усилителя.

Запись сигналов датчика давления осуществлялась синхронно с акустическим зондированием атмосферы. В результате одного сеанса зондирования записывался вектор  $P_a(p_{ai})$  данных при  $i = [1 \dots N]$ . Примем условие  $f_d = 10 F_{ав}$ , где  $f_d$  – частота дискретизации, или  $f_d = 150 Гц$ , тогда  $N = 150 \cdot 3600 = 540 \cdot 10^3$ .

### **Анализ результатов экспериментальных наблюдений**

За время натурных наблюдений получен большой объем экспериментального материала, из которого были отобраны данные, относящиеся к условиям развитой спонтанной термической конвекции, обусловленной интенсивным прогревом подстилающей поверхности и элементов инфраструктуры мегаполиса.

Предварительный анализ этих данных показал, что при однотипных атмосферных условиях структуры записей сигналов акустического зондирования и структуры записей пульсаций атмосферного давления повторяются от суток к суткам.

Характерной особенностью является присутствие спонтанно возникающих областей рассеяния акустических сигналов, которые, тем не менее, группируются в некоторую квазиорганизованную структуру, как это можно видеть на примере записи, приведенной на рис. 2 (спонтанные, вертикально организованные группы сигналов).

Анализ экспериментального материала проводится для проверки рабочей гипотезы, состоящей в том, что спонтанно возникающие области рассеяния эхосигналов акустического зондирования являются источниками микропульсаций атмосферного давления.

Продолжительность записей  $t_{\Sigma} = 1 \text{ час}$ . Графическое представление матрицы-выборки эхосигналов, приведенное на рис. 2, позволяет осуществить предварительный визуальный анализ эхосигналов, произвести отбраковку областей с высоким содержанием помех и отражений от местных предметов. В данном случае в рассмотрение принята область высоты  $\Delta h = h_1 - h_2$ , где  $h_1 = 25 \text{ м}$ ,  $h_2 = 100 \text{ м}$ . Для определения величины

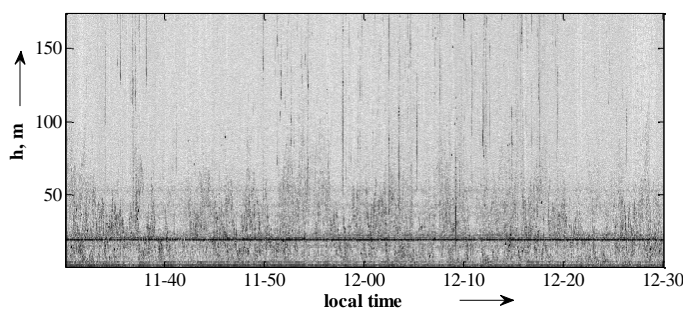


Рис. 2

$\Delta h$  использован метод анализа усредненного профиля  $U_n(h) = U_i(h)/U_{i \max}$  эхосигнала, усредненного по всей выборке  $S_u$  [1].

Методику совместного анализа продемонстрируем на примере исследования выборки эхосигналов акустического зондирования  $E_s(t)$  и синхронной записи пульсаций атмосферного давления  $P(t)$ . На рис. 3 приведены примеры синхронных записей микропульсаций атмосферного давления (штриховая линия) и результатов дистанционного акустического зондирования (сплошная линия).

Обе зависимости прошли процедуру скользящего усреднения с окном усреднения  $e_t = 30 \text{ с}$ .

Анализ записей рис. 3 показывает, что сигналы подобны, имеют «импульсный» характер и организованы в виде некоторой квазипериодической структуры. При этом некоторые участки совпадают по времени, некоторые имеют относительное опережение (запаздывание). Эти особенности дают основание к проведению корреляционного анализа полученных записей.

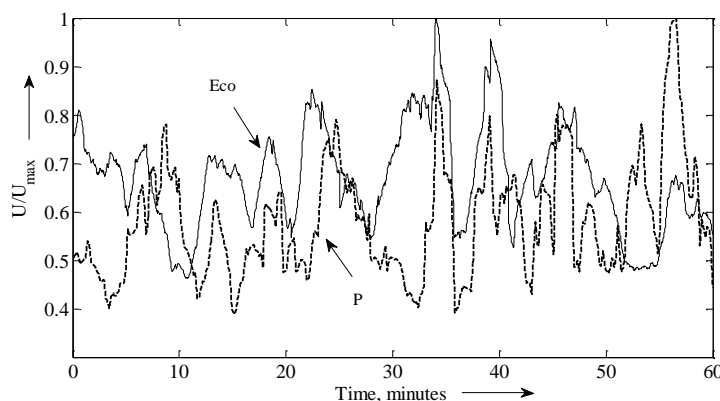


Рис. 3

Исходя из выделенных особенностей сигналов для исследования их взаимной структуры воспользуемся методом модельно-корреляционного анализа [2], при этом в качестве модели используем фрагменты записи атмосферного давления  $P_i(t_M)$  при  $t_M = [t_i \dots t_i + \Delta t]$ , то есть будем отыскивать в записи  $E_s(t)$  эхо-сигналов участки, подобные выбранному участку записи сигналов давления  $P(t)$ , при этом фрагменты (модели) выбираются путем итераций  $i = [1 \dots n_i]$  последовательно из всей записи давления, то есть число итераций  $n_i = \frac{t_{\Sigma}}{\Delta t}$ , где  $t_{\Sigma}$  – общая продолжительность записи,  $\Delta t$  – продолжительность модельного фрагмента записи давления.

В результате каждой  $i$ -й итерации получим одну зависимость коэффициента корреляции  $k_r = F(\tau)$  как функцию от последовательного сдвига  $\tau_r = t_r \cdot j$ , где  $j = [1 \dots m]$ ,  $m = [(t_{\Sigma} - \Delta t)/t_r] + 1$ , модели  $P_i(t_M)$  относительно записи эхо-сигнала  $E_s(t)$  вдоль оси времени  $t$ .

По окончании вычислений получим семейство зависимостей  $k_{r,i,j} = F(\tau, i)$  в виде  $(m \times n)$  матрицы  $M_r$ . На рис. 4. приведено графическое изображение фрагмента  $(50 \times 300)$  матрицы  $M_r$ .

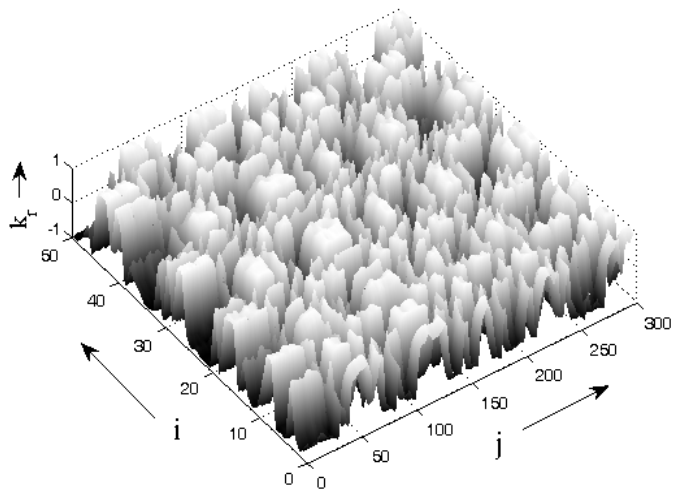


Рис. 4

Анализ изображения рис. 4 показывает, что приведенный фрагмент обладает свойством однородности и стационарности, поэтому более подробно свойство зависимости  $k_{r,i,j}$  коэффициента корреляции можно исследовать по двумерной реализации записи  $k_{r,j} = F(\tau)$  при  $i = const$ . На рис. 5, а приведена зависимость  $k_{r,j}$ , полученная для одной полной итерации, продолжительность фрагмента  $t_{\Sigma} = 1 \text{ час}$ , а на рис. 5, б – его продолжительность  $t_{\Sigma} = 25 \text{ мин}$ .

Как следует из зависимостей на рис. 5, а, б, между «взрывами» плавучести и микропульсациями атмосферного давления приблизительно в 50 % времени наблюдения имеет место сильная линейная связь с коэффициентом корреляции  $k_{r,j} \cong \pm 0,95$ . В остальной части времени связь либо слабая, либо отсутствует.

Зависимость  $k_{r,j} = F(\tau)$  имеет квазипериодический характер и представлена, по существу, импульсами связи.

Квазипериодичность можно объяснить подобием процессов генерации импульсов давления ядрами спонтанной конвекции, а противоположные знаки – приближенным равенством между продолжительностью импульсов и пауз.

### Выводы

В результате анализа экспериментальных наблюдений показано существование линейной связи между генерацией турбулентных молей в условиях развитой спонтанной конвекции в черте мегаполиса и возникновением микропульсаций атмосферного давления. Также показано, что метод акустического зондирования при его соответствующем усовершенствовании, позволяет проводить мониторинг среды мегаполиса на предмет возникновения вредных пульсаций атмосферного давления и получать экспериментальный материал для исследования причин их возникновения.

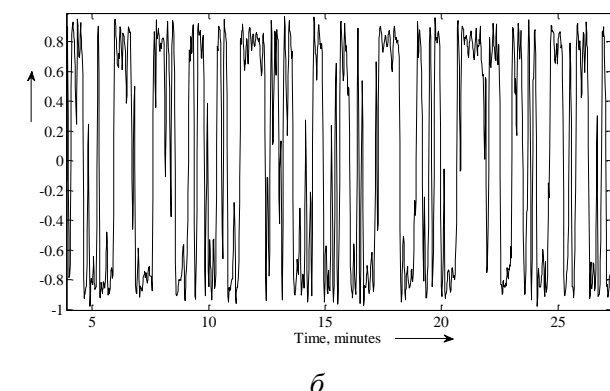
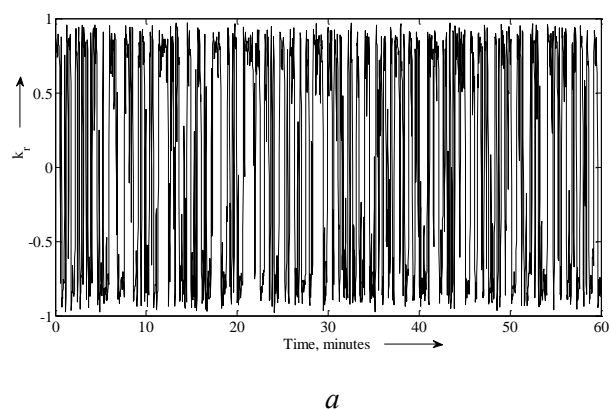


Рис. 5

**Список литературы:** 1. *Сезонно-суточные* вариации фоновых инфразвуковых колебаний давления в частотном диапазоне 0,01–32 Гц в городе Томске / А.В. Соловьев, Д.С. Проваторов, А.А. Бочаров, К.В. Вознесенская // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55, № 8. 2. *Взаимодействие* физических полей с живым веществом. – Режим доступа [http://www.zivert.ru/doc/trohan\\_book/g3.php](http://www.zivert.ru/doc/trohan_book/g3.php) / Е.И. Нефедов и др. – Тула, 1995. 3. *Горденко В.А.* Физические поля и безопасность жизнедеятельности. – М. : АСТ ; «Астрель», 2006. 4. *A. I. Tsopa, V. K. Ivanov, V. I. Leonidov, Yu. I. Maleshenko, V. V. Pavlikov, N. V. Ruzhentsev, A. A. Zarudniy.* The Research Program of Millimetric Radio Waves Attenuation Characteristics on Perspective Communication Lines of Ukraine // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science, IEEE Ukraine section, TCSET'2016, February 23 – 26, 2016, Lviv-Slavske, Ukraine, p 638 – 642. 5. *Макалюстер Л.Г., Махони А.Р., Поллард Д.Р., Шоу П.Д.Р.* Акустическое зондирование – новый метод исследования строения атмосферы. // Тр. ИИЭР – 1968. – №4. – С.231-240. 6. *Семенец В.В.* Акустическое зондирование атмосферы в проблеме изучения процессов теплообмена в зоне мегаполиса / В.В. Семенец, В.И. Леонидов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 6/8(54). – С.54. 7. *Леонидов В.И.* Статистические характеристики эхосигналов акустического зондирования в зоне мегаполиса / В.И. Леонидов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №6/4, (60). – С.46-50. 8. *Леонидов В.И.* Модельно-структурный анализ эхосигналов акустического зондирования атмосферы // Радиотехника. – 2012. – Вып. 171. – С. 258 – 261.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 14.04.2016*